

早稲田大学審査学位論文
博士（スポーツ科学）

活動記録法と加速度計法の併用により検討した
女性スポーツ選手における身体活動レベルの
個人差の変動要因

Determinants of interindividual variability
in physical activity level for female athletes
evaluated by the combination of
activity record and accelerometry

2014年7月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

吉田 明日美

YOSHIDA, Asumi

研究指導教員： 樋口 満 教授

目次

第1章	背景	・・・3
第2章	女性スポーツ選手の身体活動レベルの個人差に対するトレーニングおよび 生活活動の寄与	・・・16
第3章	女性スポーツ選手の通常トレーニング期における総エネルギー消費量および 活動内容別エネルギー消費量の推定方法の考案	
第1節	トレーニング中のエネルギー消費量を評価するための主観的運動強度に 基づく活動記録法の提案	・・・33
第2節	女性陸上長距離選手における活動記録法と加速度計法の併用法による 総エネルギー消費量評価の妥当性の検討	・・・53
第4章	女性陸上長距離選手における身体活動レベルの個人差に影響する要因の 検討	・・・78
第5章	総括	・・・93
	謝辞	・・・99
	文献	・・・102

本論文中に使用した略称

略称	正式名称	日本語名称
TEE	Total energy expenditure	総エネルギー消費量
ACSM	American College of Sports Medicine	アメリカスポーツ医学会
DLW	Doubly labeled water	二重標識水
PAL	Physical activity level	身体活動レベル
RMR	Resting metabolic rate	安静時代謝量
DRI	The Dietary Reference Intake	食事摂取基準
JISS	The Japan Institute of Sports Sciences	国立スポーツ科学センター
HR	Heart rate	心拍数
EE	Energy expenditure	エネルギー消費量
PA	Physical activity	身体活動
SD	Standard deviation	標準偏差
BH	Body height	身長
BW	Body weight	体重
BF	Percent of body fat	体脂肪率
FFM	Fat free mass	除脂肪量
BMI	Body mass index	体格指数
FQ	Food quotient	食物商
VO ₂	Oxygen uptake	酸素摂取量
MET	Metabolic equivalent	メット
RPE	Rating of perceived exertion	主観的運動強度
SED	Sedentary activity	座位活動
LPA	Light-intensity physical activity	低強度活動
MPA	Moderate-intensity physical activity	中強度活動
VPA	Vigorous-intensity physical activity	高強度活動
ICC	Intra-class correlation coefficient	級内相関係数
CI	Confidence interval	信頼区間
AEE	Activity-related energy expenditure	活動エネルギー消費量
CV	Coefficient of variation	変動係数

第1章 背景

スポーツ選手は、最大限のトレーニング効果を得るためや、体重および健康の維持のために、TEE に見合ったエネルギー摂取を行う必要がある。スポーツ選手のエネルギー摂取量の不足は、筋肉量の低下、骨密度の減少、疲労や傷害、疾病のリスク増加、免疫機能の低下等を引き起こす。すなわち、スポーツ選手においては、トレーニングを行ったことによる良い効果が、TEE に対するエネルギー摂取量の不足によって打ち消されてしまうと言いかえることができる (Rodriguez et al., 2009)。近年、国際的に問題視されている「Female Athletes Triad」は、過酷なトレーニングを積む女性スポーツ選手に見られる、摂食障害 (disordered eating)、無月経 (amenorrhea)、骨粗鬆症 (osteoporosis) の総称である。ACSM は、これらの症状を引き起こす要因として、TEE に対するエネルギー摂取量の不足を挙げている (Rodriguez et al., 2009)。したがって、スポーツ選手が、競技力を向上させるためのトレーニングを、健康な状態で継続して行っていくためには、TEE に見合った適切なエネルギーの摂取が不可欠である。

一般成人において、体重に増減のない状態では、エネルギー必要量は TEE と等しいと仮定できる。このため、スポーツ選手におけるエネルギー必要量は、TEE をもとに、個々のトレーニング目的を考慮して設定される。現時点で、自由生活下における TEE 測定のゴールドスタンダード法は、DLW 法とされている (Montoye et al., 1996)。DLW 法では、まず、水素と酸素の安定同位体 (^2H と ^{18}O) を既知の濃度含む水 (DLW) を対象者に投与する。DLW は、対象者の体内で体水分と平衡になった後、 ^2H は水 ($^2\text{H}_2\text{O}$)

として、尿や汗、呼気中の水蒸気となって体外に排出される。一方、 ^{18}O は水 (H_2^{18}O) の他に、呼気ガス中の二酸化炭素 (C^{18}O_2) としても排出される。これら 2 つの同位体の排出率の差から二酸化炭素の排出率を算出し、TEE を求める (Figure 1-1)。DLW 法の実施に際しての対象者への負担は、DLW 服用後 1~2 週間にわたり規定された日時に採尿するのみで、日常生活を行う上での制限はほとんどない。また、DLW 法は安全性が証明されている方法であり (Koletzko et al., 1997)、現在では、新生児から高齢者まで、幅広い対象者に対して用いられている (齊藤ら, 1999)。DLW 法で測定した TEE の妥当性は、ヒューマンカロリメーターを妥当基準として検討した研究により、良好な結果が報告されている (齊藤ら, 1999; 田中, 2006)。しかしながら、DLW 法にはいくつかの欠点がある。第 1 に、 ^{18}O が高価である。第 2 に、サンプル尿の分析には質量比分析計が必要であるが、これを設置していない研究機関では、専門の業者に分析の依頼をする必要があり、費用がかかる。第 3 に、DLW 法で算出できるのは、測定期間を通しての TEE であり、その内訳を評価することはできない。このような問題点から、現場において、個人あるいはチームの TEE を、DLW 法を用いて評価することは困難である。そのため、現在、現場における TEE の推定は、PAL の基準値に個々の RMR を乗じることで行われている。

PAL は、TEE が RMR の何倍に相当するかを示す値であり、主に身体活動量の指標として用いられる。「日本人の食事摂取基準 (2010 年版)」(DRI) では、DLW 法を用いて TEE を評価し、PAL を算出した研究結果に基づいて設定した、一般人の PAL の基準値を、年齢階級別、身体活動量別に示している (Table 1-1)。さらに、一般成人にお

いては、身体活動量別に PAL の代表値とその範囲、活動内容と活動時間の代表例が、それぞれ示されている (Table 1-2 & 1-3)。したがって、一般成人では、DRI に示されている活動内容とその時間を参考にして、個々で PAL の値を調整することが可能である。しかしながら、スポーツ選手のように、日常的に高強度の活動を長時間行うような者は、DRI では対象外となっている。

スポーツ選手の PAL は、JISS によって目安の値が報告されている (小清水ら, 2005)。JISS では、DLW 法を用いてスポーツ選手の TEE を測定し、PAL を算出した 7 つの研究 (Schulz et al., 1992; Edwards et al., 1993; Jones et al., 1993; Davies et al., 1997; Ebine et al., 2000; Ekelund et al., 2000; Ebine et al., 2002) に基づいて、スポーツ選手の PAL の目安の値を、通常トレーニング期とオフトレーニング期の 2 つの期別、4 つの種目カテゴリー別に、それぞれ 1 つの値で示している (Table 1-4)。これまでに、スポーツ選手の通常トレーニング期の TEE を DLW 法によって測定し、PAL を算出している 9 つの研究 (Schulz et al., 1992; Davies et al., 1997; Ebine et al., 2000; Ekelund et al., 2002; Hill et al., 2002; 引原ら, 2005; 山本ら, 2008; 吉田ら, 2013; 吉田ら, 2013) の結果を Table 1-5 および Figure 1-2 にまとめた。このうち、日本人スポーツ選手を対象とした研究は 6 報であり、うち 2 報 (吉田ら, 2013; 吉田ら, 2012) は著者らの研究である。

著者らはこれまでに、女性陸上短距離選手、女性陸上中長距離選手、女性水泳選手、女性新体操選手、女性ラクロス選手を対象に、DLW 法で測定した TEE を、実測した RMR で除して、PAL を求めた。その結果、PAL はそれぞれ、 2.30 ± 0.30 、 2.23 ± 0.33 、 2.45 ± 0.41 、 2.65 ± 0.47 、 2.44 ± 0.47 であり、同一種目内でもばらつきが大きいことが

明らかとなった。これは、同じ種目の選手であっても、個々の活動内容が異なるために、PAL にばらつきが生じたと推察される。したがって、スポーツ選手の PAL の基準値においても、JISS のように種目カテゴリーによって区分するのではなく、DRI のように活動内容と活動時間によって区分するのが望ましいと考えた。しかしながら、これまでにスポーツ選手の PAL を測定した研究においては、トレーニング内容やトレーニング以外の生活活動の内容に関する記述が少なく、活動内容と PAL との関連が不明なため、PAL の基準値の区分を検討することができない。

これまでに、スポーツ選手の TEE は、HR 法 (Ekelund et al., 2002; 引原ら, 2005; Motonaga et al., 2006)、加速度計法 (引原ら, 2005; Koehler et al., 2011)、活動記録法 (引原ら, 2005; Eisenmann et al., 2007; Carlsohn et al., 2011) 等によって測定されてきた。これらの方法は、DLW 法とは異なり、TEE の内訳を評価することが可能である。HR 法および加速度計法は、TEE を客観的に評価できるが、測定期間を通して小型の測定機器を装着する必要がある、選手同士の接触のある種目や、水上、水中で行う種目の選手には適用が困難である。Ekelund et al. (2002) の研究によると、HR 法で測定した男性スピードスケート選手 8 名の TEE の、DLW 法に対する推定誤差の 95% CI は、-17.2 % ~ 18.3 % に相当していた。また、Koehler et al. (2011) は、男性陸上長距離選手 15 名を対象に、加速度計法によって TEE を評価し、DLW 法に対する推定誤差の 95% CI が、-37 % ~ 34 % であったと報告している。一方、活動記録法は、測定期間中の活動の制限はないが、TEE の推定誤差を小さくするためには活動内容を詳細に記録する必要がある、対象者や記録者への負担が大きい。引原ら (2005) は、男性野球選手 12 名を対象

に、HR 法、加速度計法、活動記録法による TEE 評価の妥当性を、DLW 法で評価したそれを妥当基準として、それぞれ検討した。その結果、TEE の推定誤差の 95% CI は、HR 法で-16.2～79.4 %、加速度計法で-42.5～-28.1 %、活動記録法で-26.9～-0.9 %に相当し、いずれの方法においても、DLW 法で評価した TEE との間に有意差がみられた。このように、スポーツ選手の TEE を、HR 法、加速度計法、活動記録法のうちの単一の手法によって評価すると、推定誤差が大きくなる可能性がある。この原因は、トレーニングとトレーニング以外の生活活動で、それぞれ EE の適切な評価方法が異なるためと推察される。スポーツ選手の 1 日は、特有の動作が多く含まれると考えられるトレーニングと、一般人と共通であると考えられる生活活動とに分類できる。そこで、トレーニング中の EE は、主観的な評価手法ではあるが、測定機器の装着や活動の制限のない活動記録法によって、生活活動中の EE は、客観的な評価手法であり、生活活動の大部分を占めると予測される低強度の活動を他の方法よりも正確に評価できる加速度計法によって、それぞれ評価することで、単一の手法でトレーニングと生活活動の両方を評価するよりも、推定誤差を小さくできると推測した。そして、トレーニング中の EE と生活活動中の EE を組み合わせて 1 日の TEE を求める方法が、スポーツ選手の TEE とその内訳を評価する方法として適切ではないかと考えた。

以上のことから、本論文を通しての目的を、スポーツ選手の PAL の基準値を、活動内容や活動時間によって区分することが適切かどうかを明らかにすることとした。そのために、第 2 章では、女性新体操選手と女性ラクロス選手の 1 日を、トレーニングとトレーニング以外の生活活動とに分類し、それぞれの時間および活動量を調査する

とともに、それらと PAL との関連を検討した。第 3 章では、第 1 節において、トレーニングの内容をより詳細に評価するための活動記録法を作成し、その妥当性を調査した。第 2 節では、前節で作成した活動記録法によってトレーニングの EE を、加速度計法によって生活活動の EE をそれぞれ評価する併用法の妥当性を、DLW 法を妥当基準として調査した。第 4 章では、併用法を用いて評価した、トレーニングおよび生活活動の活動強度別の時間および活動量と、PAL との関連を検討した。

DLW法の原理

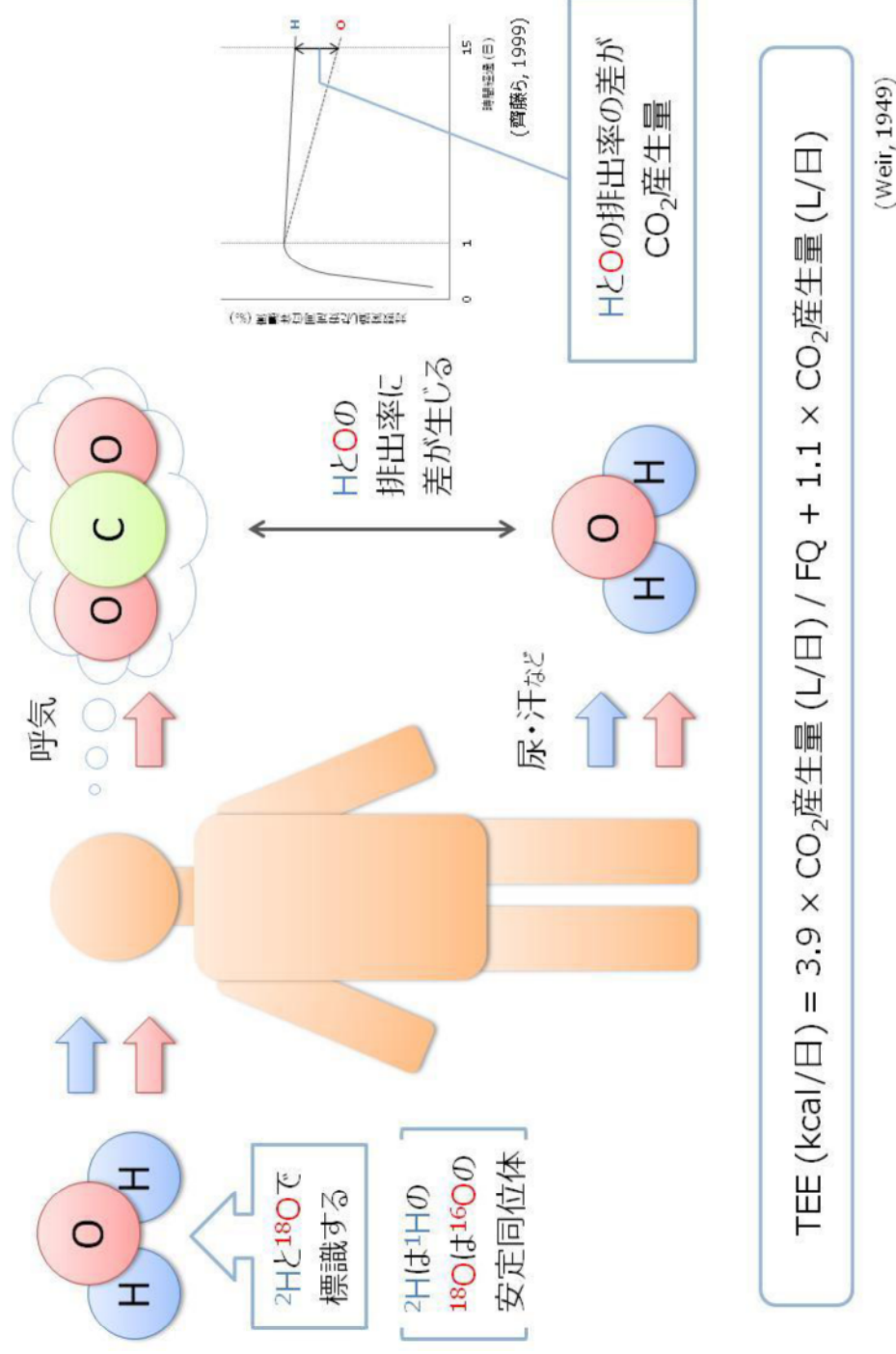


Figure 1-1. The mechanism for the DLW method

Table 1-1. Classified PALs by age-group both sexes

身体活動レベル	レベルⅠ（低い）	レベルⅡ（ふつう）	レベルⅢ（高い）
1～2（歳）	-	1.35	-
3～5（歳）	-	1.45	-
6～7（歳）	1.35	1.55	1.75
8～9（歳）	1.40	1.60	1.80
10～11（歳）	1.45	1.65	1.85
12～14（歳）	1.45	1.65	1.85
15～17（歳）	1.55	1.75	1.95
18～29（歳）	1.50	1.75	2.00
30～49（歳）	1.50	1.75	2.00
50～69（歳）	1.50	1.75	2.00
70以上（歳）	1.45	1.70	1.95

An excerpt from “Japanese Dietary Reference Intakes 2010” (2009)

Table 1-2. The typical examples of the classification of daily PA

身体活動の分類（メッツ値*の範囲）	身体活動の例
睡眠（0.9）	睡眠
座位または立位の静的な活動 （1.0～1.9）	テレビ・読書・電話・会話など（座位または立位）、食事、運転、デスクワーク、縫物、入浴（座位）、動物の世話（座位、軽度）
ゆっくりした歩行や家事など低強度の活動 （2.0～2.9）	ゆっくりした歩行、身支度、炊事、洗濯、料理や食材の準備、片付け（歩行）、植物への水やり、軽い掃除、コピー、ストレッチング、ヨガ、キャッチボール、ギター・ピアノなどの楽器演奏
長時間持続可能な運動・労働など 中強度の活動（普通歩行を含む） （3.0～5.9）	ふつう歩行～速歩、床掃除、荷造り、自転車（ふつうの速さ）、大工仕事、車の荷物の積み下ろし、苗木の植栽、階段を下りる、子どもと遊ぶ、動物の世話（歩く/走る、ややきつい）、ギター：ロック（立位）、体操、バレーボール、ボーリング、バドミントン
頻繁に休みが必要な運動・労働など 高強度の活動 （6.0以上）	家財道具の移動・運搬、雪かき、階段を上る、山登り、エアロビクス、ランニング、テニス、サッカー、水泳、縄跳び、スキー、スケート、柔道、空手

An excerpt from “Japanese Dietary Reference Intakes 2010” (2009)

* Ainsworth et al., 2011

Table 1-3. The typical examples of contents and durations of daily PA according to PAL groups (15-69 years)

	身体活動レベル	低い (Ⅰ)	ふつう (Ⅱ)	高い (Ⅲ)
		1.50 (1.40~1.60)	1.75 (1.60~1.90)	2.00 (1.90~2.20)
	日常生活の内容	生活の大部分が座位で、 静的な活動が中心の場合	座位中心の仕事だが、職場内での 移動や立位での作業・接客等、 あるいは通勤・買物・家事、軽い スポーツ等のいずれかを含む場合	移動や立位の多い仕事への 従事者。あるいは、スポーツなど 余暇における活発な 運動習慣をもっている場合
個々の活動の 分類 (時間/日)	睡眠 (0.9 METs)	7~8	7~8	7
	座位または立位の静的な活動 (1.5 METs : 1.0~1.9 METs)	12~13	11~12	10
	ゆっくりした歩行や家事など低強度の活動 (2.5 METs : 2.0~2.9 METs)	3~4	4	4~5
	長時間持続可能な運動・労働など 中強度の活動 (普通歩行を含む) (4.5 METs : 3.0~5.9 METs)	0~1	1	1~2
	頻繁に休みが必要な運動・労働など 高強度の活動 (7.0 METs : 6.0 METs以上)	0	0	0~1

An excerpt from “Japanese Dietary Reference Intakes 2010” (2009)

Table 1-4. The PAL groups sorted by sporting categories for athletes (Koshimizu et al., 2005)

種目カテゴリー	期分け	
	オフトレーニング期	通常トレーニング期
持久系	1.75	2.50
瞬発系	1.75	2.00
球技系	1.75	2.00
その他	1.50	1.75

Table 1-5. TEE, RMR and PAL for athletes during normal training season

Subjects	TEE (kcal/day)	RMR (kcal/day)	PAL	References
Male athletes				
7 bodybuilders	3433 \pm 634	1687 \pm 178	1.99 \pm 0.23	Yamamoto et al., 2008
12 baseball players	4922 \pm 391	1849 \pm 96	2.66 \pm 0.14	Hikiyama et al., 2005
8 speed skaters	4039 \pm 693	2008 \pm 120*	2.0 \pm 0.2	Ekelund et al., 2002
6 gymnasts	2072 \pm 340	1064 \pm 82	1.96 \pm 0.36	Davies et al., 1997
Female athletes				
12 sprinters	2392 \pm 376	1069 \pm 144	2.30 \pm 0.30	Yoshida et al., 2013
9 middle-long endurance runners	2673 \pm 620	1200 \pm 222	2.23 \pm 0.33	Yoshida et al., 2012
10 swimmers	3077 \pm 346	1300 \pm 209	2.45 \pm 0.41	Yoshida et al., 2012
7 rhythmic gymnasts	2910 \pm 224	1121 \pm 150	2.65 \pm 0.47	Yoshida et al., 2012
12 lacrosse players	2910 \pm 277	1220 \pm 168	2.44 \pm 0.47	Yoshida et al., 2012
7 lightweight rowers	3957 \pm 1219	1389 \pm 34*	2.85 \pm 0.9	Hill et al., 2002
9 synchronized swimmers	2738 \pm 672	1247 \pm 75†	2.18 \pm 0.43	Ebner et al., 2000
6 gymnasts	1939 \pm 140	952 \pm 50	2.04 \pm 0.16	Davies et al., 1997
9 endurance runners	2826 \pm 312	1439 \pm 227	1.99 \pm 0.30	Schulz et al., 1992

Values are shown as mean \pm SD. * Estimated RMR, † RMR in the sitting position

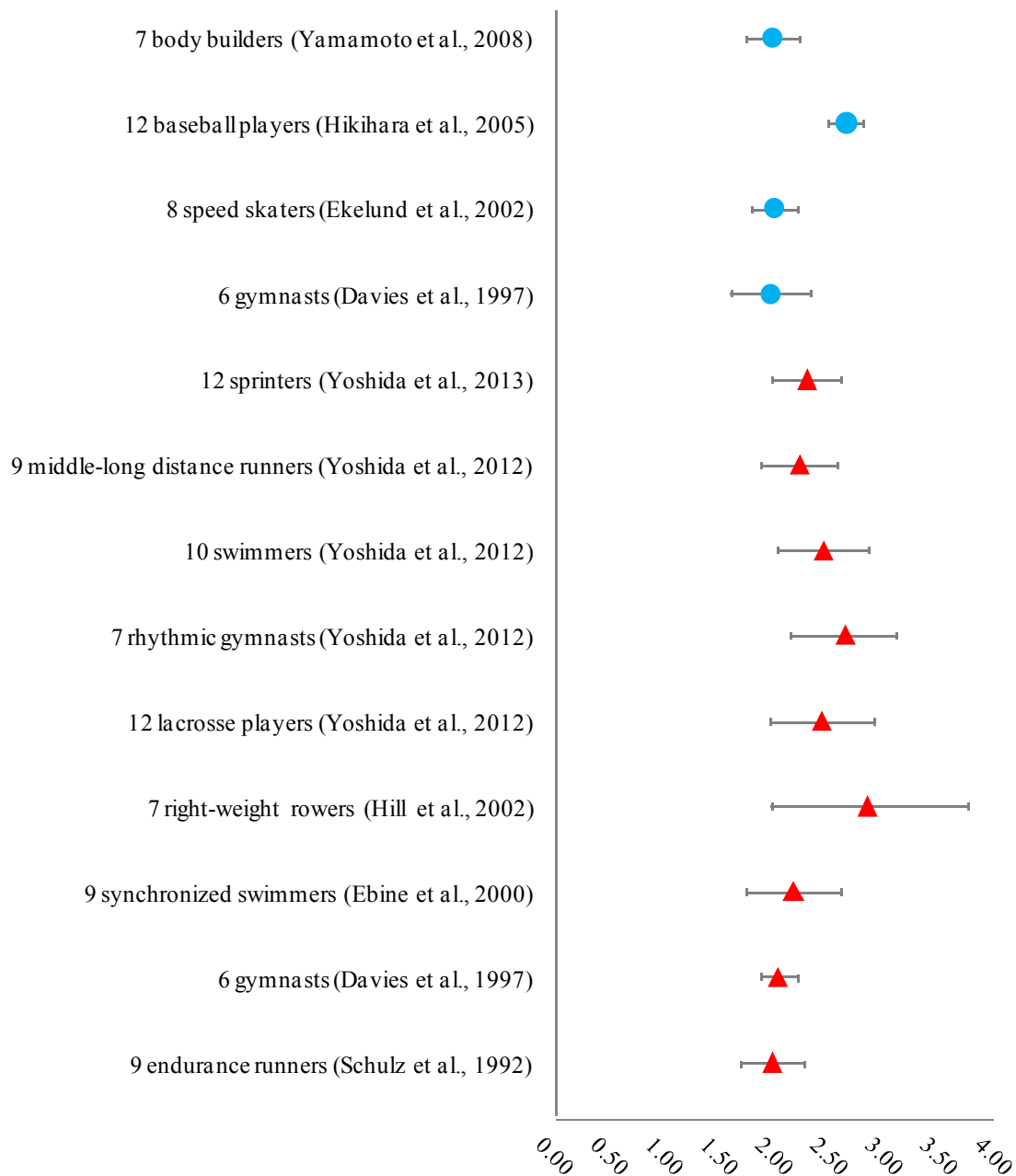


Figure 1-2. PAL for athletes during normal training season

Data are presented as mean (●: male athletes, ▲: female athletes) and SD (horizontal bars).

第2章

女性スポーツ選手の身体活動レベルの個人差に対するトレーニングおよび生活活動の寄与

2-1. 緒言

スポーツ選手の PAL は、JISS によって、通常トレーニング期およびオフトレーニング期において、4 つの種目カテゴリー別に示されている（小清水ら, 2005）。JISS の定めた目安の値では、通常トレーニング期の PAL は、「持久系」が 2.50、「瞬発系」が 2.00、「球技系」が 2.00、「その他」が 1.75 である。

JISS における通常トレーニング期の PAL の値は、7 つの異なる種目の選手を対象に、DLW 法を用いて TEE を評価し PAL を算出した、7 つの先行研究に基づいている（Schulz et al., 1992; Edwards et al., 1993; Jones et al., 1993; Davies et al., 1997; Ebine et al., 2000; Ekelund et al., 2000; Ebine et al., 2002）。4 つの種目カテゴリーのうち、「瞬発系」と「球技系」では、通常トレーニング期の日本人スポーツ選手の 75% の PAL が 2.2 以下に分布していたことと、これまでに測定されたスポーツ選手の PAL の平均値が 2.03 となることから、基準となる PAL は 2.0 とされている。また、「持久系」の PAL は、一般的にトレーニング時間が長く運動量が多いことと、体重が比較的軽い選手が多いことから、通常トレーニング期の PAL の上限値となる 2.5 とされている。「その他」の PAL の設定理由については、述べられていない。

同一種目を対象とした先行研究であっても、PAL の値にはばらつきがある。例えば、通常トレーニング期の女性水泳選手の PAL を 1.71 と報告している研究 (Jones et al., 1993) もあれば、2.45 と報告している研究 (吉田ら, 2012) もある。また、強化合宿期のように、トレーニング時間がより長い場合には、PAL は 3.0 にまで増加する (Trappe et al., 1997)。同様に、JISS の区分では同一種目カテゴリーに分類される、異なる種目においても、PAL の値にはばらつきがある。例えば、「球技系」に含まれると考えられる男性野球選手の PAL は 2.66 (引原ら, 2005) であったのに対し、同じく「球技系」と考えられる男性サッカー選手の PAL は 2.11 (Ebine et al., 2002) であったと報告されている。したがって、種目カテゴリーごとに PAL の基準値を設定することは、困難であると考えられる。さらに、Carlsohn et al. (2011) は、若年スポーツ選手と同年代のコントロール群との間で、活動記録法で評価した PAL の値に有意差がなかったことを報告しており、この理由を、トレーニングにより EE が増加しても、その分トレーニング以外の生活活動による EE が減少したことで相殺されたためとしている。したがって、PAL とトレーニングとの関連と、PAL とトレーニング以外の生活活動との関連を、それぞれ明らかにする必要がある。

そこで、本研究では、異なる種目の選手を対象に、通常トレーニング期における PAL の値と、トレーニングおよびトレーニング以外の生活活動の時間、強度、活動量を調査した。そして、スポーツ選手の PAL により強く関連するのは、トレーニングか、それとも生活活動かを明らかにすることを目的とした。

2-2. 方法

2-2-1. 対象者

本研究対象者は、体育系大学の運動部に所属する女子学生 22 名（新体操選手 11 名、ラクロス選手 11 名）であった。新体操は、JISS（小清水ら, 2005）が定めた 4 つの種目カテゴリーのうちの「その他」に、ラクロスは「球技系」にそれぞれ分類される。すべての対象者は、全日本学生選手権に出場する競技レベルであった。対象者にはあらかじめ研究の目的、方法、危険性等を十分に説明し、文書による同意を得た。本研究は、早稲田大学に設置の「人を対象とする研究に関する倫理委員会」ならびに（独）国立健康・栄養研究所に設置の「人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会」より承認を得て、実施した。

2-2-2. 研究デザイン

測定は、2007-2008 年の通常トレーニング期に行った。測定項目は、BH、BW、BF、FFM、RMR、TEE であった。TEE の測定は 8 日間にわたって行い、同期間に食事調査を実施した。RMR は TEE 測定期間の前後のうち、測定期間に出来る限り近い卵胞期に測定した。身長は TEE 測定の初日に測定し、体重は空腹状態で、DLW の投与前と測定期間の最終日に測定した。BF および FFM の測定は、TEE 測定期間の終了後 4 日以内に実施した。測定期間中は、普段と変わらぬ活動内容および食事内容を心がけるよう対象者に指示した。

2-2-3. 身体組成の測定

BW は体重計 (UC-321; (株) A&D, 東京) を用いて 0.1kg まで、BH は身長計 (ST-2M; (株) ヤガミ, 愛知) を用いて 0.1cm まで、それぞれ測定した。BF ならびに FFM は、二重エネルギー X 線吸収測定法 (Hologic QDR-4500 DXA Scanner; Hologic Inc., Waltham, MA, USA) によって測定した。BMI は、BW (kg) を BH (m) の 2 乗で除して求めた。

2-2-4. RMR の測定

対象者は測定前日の夜 9 時までには食事を済ませ、宿泊施設に宿泊した。翌朝、室温 20-25℃ の条件下で 30 分以上、仰臥位にて安静にした後、仰臥位のまま 10 分間の呼気をダグラスバッグに 2 回採集した。採集後は直ちに、呼気ガス分析装置 (新体操: AE-300S; ミナト医科学(株), 大阪, ラクロス: ARCO-1000; (有) アルコシステム, 千葉) を用いて、呼気中の酸素濃度および二酸化炭素濃度を測定した。その後、乾式ガスメーター (DC-5; (株) シナガワ, 東京) を用いて呼気量を測定した。それらの測定値から、酸素摂取量と二酸化炭素産生量を算出し、Weir (1949) の式により 1 分間あたりの RMR を計算した。この値を 1440 分に換算し、1 日あたりの RMR (kcal/day) とした。

本研究で使用したのと同じ 2 つの異なる呼気ガス分析装置を用いて、若年男女 95 名の RMR をそれぞれ測定した先行研究 (未発表) によると、AE-300S で測定した RMR は、ARCO-1000 のそれと比較して有意に低値を示すことが明らかとなった (平均値の差: -31 ± 23 kcal/day, 推定誤差: -2.6 ± 2.1 %)。そこで、本研究において、AE-300S を用いて測定した新体操の RMR に、-2.6 % の推定誤差を補正して統計解析を行ったところ、

群間比較の結果に補正する前後で違いがなかった。したがって、本研究ではデータの補正は行わないこととした。

2-2-5. TEE の測定

対象者は早朝空腹時に尿の採取と BW の測定を行った後に、10.0atom%¹⁸O（大陽日酸(株), 東京）と 99.9atom%²H（Cambridge Isotope Laboratories Inc., Andover, MA, USA）の混合液により、BW1kg あたり 1.4g の H₂¹⁸O と 0.06g の ²H₂O を摂取した。対象者は、翌日から 8 日目まで、1 日 1 回、ほぼ同時刻に採尿した。サンプルはパラフィルムで密閉した状態で、分析まで-30℃で保存した。

²H は白金を触媒として H₂ ガスで、¹⁸O は CO₂ ガスで平衡法により前処理を行った後、²H および ¹⁸O の安定同位体比を質量比分析計（Finnigan DELTAPlus; Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA）により分析した。すべてのサンプルとワーキングスタンダードは、2 本ずつ分析した。

²H および ¹⁸O の希釈容積（N）と減衰率（ k_H および k_O ）は、尿中の安定同位体比から求めた標準化した安定同位体濃度を対数変換した値と、DLW 投与後の経過時間との直線回帰式を用いて求めた。経過時間 0 における切片は、²H および ¹⁸O の N の算出に用いた。総体水分量（TBW）は、²H から求めた N を 1.041 で除したものと、¹⁸O から求めた N を 1.007 で除したものの平均値とした。二酸化炭素の排出量（ rCO_2 ）は、 $0.4554 \times TBW \times (1.007k_O - 1.041k_H)$ により求めた。

TEE の計算には、 rCO_2 と呼吸商に基づく Weir（1949）の式を用いた。DLW 法にお

いては、全期間を通じた呼吸商の直接測定が不可能である。そのため、大きな体重変動のないエネルギーバランスのとれた状態では、FQ を使用して TEE を求めることがもっとも適切とされている (Black et al., 1986)。本研究において、FQ は自己記入式の食事調査より得られた主要栄養素摂取量から、Black et al. (1986) の式を用いて個別に算出し、TEE の計算には種目ごとの FQ の平均値を用いた (新体操 : 0.873、ラクロス : 0.868)。PAL は TEE を RMR で除して求めた。

2-2-6. 活動内容の評価

活動内容の評価は、加速度計と活動記録のデータを用いて行った。対象者には、TEE の測定と同期間のうち、睡眠、トレーニング、入浴を除くすべての時間に、3 軸加速度計 (Activity Monitor EW4800; パナソニック電気(株), 大阪) を腰部に装着するよう依頼した。Yamada et al. (2009) はこの加速度計を用いて評価した TEE と、DLW 法で測定した TEE との間に有意な正の相関 ($r = 0.835$) がみられたことを報告している。また、松村ら (2008) は 7 種類の速度の歩行および走行 (40m/分~160m/分)、7 種類の日常的な活動 (身支度、着替え、食事準備、食事 (演技)、食事片付け、洗濯、掃除) を行っている間の VO_2 と、加速度計を用いて評価した EE との間に、有意な正の相関 ($R^2 = 0.86$) がみられたことを報告している。本研究では、加速度データの記録間隔を 60 秒に設定した。測定期間終了後、加速度計を回収し、本体に記録された加速度データをコンピューターに取り込んだ。本研究では、睡眠、トレーニング、入浴を除くすべての時間のうち、90%以上の時間において加速度データが得られた日を解析対象

とした。

対象者には、配布した活動記録用紙に、加速度計を装着した時刻、外した時刻と、その理由を記録するよう依頼した。活動記録用紙の記録をもとに、対象者の1日を睡眠、トレーニング、トレーニング以外の生活活動の3つに分類した。それぞれの活動の継続時間は、活動記録用紙に記載された内容と加速度計のデータから求めた。睡眠の量は、1.0MET (Ainsworth et al., 2011) に個々の睡眠時間を乗じた値とした。また、生活活動中の活動量は、加速度計で評価した生活活動中の平均 METs 値に、生活活動の時間を乗じて算出した。入浴時間中の活動強度は、1.5METs (Ainsworth et al., 2011)、非装着時間中の活動強度は、生活活動中の平均 METs 値とした。トレーニング中の活動量は、TEE を用いて算出した全体の活動量から、睡眠と、生活活動時間、入浴時間、非装着時間における各活動量を、すべて差し引いた残りとした。なお、入浴時間および非装着時間における活動量は、トレーニング中の活動量の算出のみに用いた。トレーニング中の平均活動強度は、トレーニング中の活動量をトレーニング時間で除して算出した。

生活活動は強度別に、SED ($1.0\text{MET} \leq \leq 1.5\text{METs}$)、LPA ($1.5\text{METs} <, < 3\text{METs}$)、MPA ($3\text{METs} \leq, < 6\text{METs}$)、VPA ($\geq 6\text{METs}$) の4つに分類した。各活動強度における活動量は、加速度計で評価した強度に活動時間を乗じて算出した。

2-2-7. 統計解析

データは平均値およびSD、あるいは中央値および値の範囲で示した。新体操とラク

ロスで生活活動の時間および活動量が異なるため、生活活動中の活動強度別の時間および活動量は、割合によって示した。身体組成と RMR、TEE、PAL の種目間比較は、Student の t 検定を用いて、年齢とトレーニング、生活活動、睡眠の時間および量、トレーニングおよび生活活動中の平均活動強度の種目間比較は、Mann-Whitney の U 検定を用いて行った。生活活動中の活動強度別の時間および活動量の種目間比較には、 χ^2 検定を用いた。トレーニング、生活活動、睡眠の時間および量と PAL との関連は、Spearman の順位相関係数を用いて評価した。すべての統計解析は、統計ソフト（IBM SPSS Statistics version 20; IBM Corporation, Somers, NY, USA）を用いて行い、有意水準を 5%とした。

2-3. 結果

対象者特性を Table 2-1 に示した。年齢、BW、BMI、BF は、新体操選手に比べてラクロス選手の方が有意に高かった。TEE、RMR、PAL は、種目間に有意な差はみられなかった。

トレーニング、生活活動、睡眠の時間、量、強度を、Table 2-2 に示した。新体操選手はラクロス選手と比較して、トレーニング時間が有意に長く、生活活動の時間が有意に短かった。トレーニングおよび生活活動の平均活動強度には、種目間で有意差はなかった。トレーニングおよび生活活動の活動量と睡眠の量には、種目間で有意差がみられた。生活活動において、活動時間および活動量には、種目間に有意差がみられたが、活動強度別の時間および活動量の割合には、種目差はみられなかった (Table 2-3)。

いずれの種目においても、PAL とトレーニング量との間に有意な正の相関がみられた（新体操： $\gamma_s = 0.818$ 、 $p = 0.002$ 、ラクロス： $\gamma_s = 0.882$ 、 $p < 0.001$ ）（Table 2-4）。新体操選手において、トレーニングと生活活動との間には、時間（ $\gamma_s = -0.685$ 、 $p = 0.020$ ）と量（ $\gamma_s = -0.936$ 、 $p < 0.001$ ）の両方で有意な負の相関がみられた。一方、ラクロス選手では、トレーニングと生活活動との間に有意な相関はみられなかった。

2-4. 考察

本研究は、異なる種目を対象に、DLW 法によって求めた PAL と、トレーニングおよびトレーニング以外の生活活動との関連を明らかにした初めての研究である。本研究における重要な知見は次の 2 つである。第 1 に、新体操選手はラクロス選手と比較して、トレーニングの時間が長く、トレーニング量が多かったが、PAL の平均値に種目差はなかった。また、生活活動中の活動強度別の時間ならびに活動量の割合に、種目差はなかった。第 2 に、いずれの種目においても、PAL に強く関連していたのはトレーニング量であり、トレーニング時間ではなかった。そして、生活活動に関しては、時間および活動量のいずれも、PAL と関連しなかった。

本研究における種目ごとの PAL の平均値は、JISS（小清水ら, 2005）によって報告されている種目カテゴリー別の目安の値よりも高かった。「球技系」の PAL の目安の値は 2.00 であるが、本研究におけるラクロス選手の PAL の平均値は 2.42 であった。「球技系」に該当する他の種目の PAL を報告した研究によると、男性野球選手で 2.66（引原ら, 2005）、男性プロサッカー選手で 2.11（Ebina et al., 2002）と、いずれも JISS の定

めた目安の値よりも高い値であった。同様に、「その他」の PAL の目安の値は 1.75 であるが、本研究における新体操選手の PAL の平均値は 2.59 であった。「その他」の種目について先行研究で報告された PAL は、若年体操選手で 1.98 (Davies et al., 1997)、女性シンクロナイズドスイミング選手で 2.18 (Ebine et al., 2000) と、いずれも JISS の定めた目安の値と比較して高かった。

本研究において、同一種目内で PAL に大きなばらつきがみられた（新体操：1.82～3.88 (SD=0.63)、ラクロス：1.82～3.29 (SD=0.63))。選手の PAL の平均値 (\pm SD) を報告した先行研究によると、女性軽量級ボート選手で 2.85 (\pm 0.9) (Hill et al., 2002)、女性シンクロナイズドスイミング選手で 2.18 (\pm 0.43) (Ebine et al., 2000) であった。このように、同じチームに所属する選手や、同じ種目の選手であったとしても、PAL のばらつきが大きい可能性がある。実際に、本研究対象者は同じ大学のクラブに所属していたが、トレーニングの強度や時間、量に大きな個人差がみられた。このことは、同じチームに所属していても、ポジションや競技レベルの違いによって、トレーニングの強度や時間が異なることを示している。したがって、種目ごとに PAL の基準値を設定すると、個々のエネルギー必要量を過大あるいは過小に推定する恐れがあるため、望ましくないことが示唆された。

新体操選手はラクロス選手よりもトレーニング量が多かったにもかかわらず、PAL に違いはみられなかった。これは、新体操選手の生活活動中の活動量が、ラクロス選手よりも少なかったためと考えられる。しかしながら、生活活動の活動強度や強度別の活動量の割合に、種目差はみられなかった。Carlsohn et al. (2011) は、若年スポー

ツ選手の TEE および PAL を活動記録法によって評価し、同年代のコントロール群と比較したところ、選手の方がトレーニングによって消費したエネルギー量が多いにもかかわらず、両群に有意差がみられなかったことを報告している。この理由として、選手はトレーニングを行った分、他の時間で休養をとる必要があり、トレーニング以外の生活活動中の活動量が少なかったためと述べている。しかしながら、本研究では、新体操選手の生活活動の活動量がより少なかったことは、生活活動の時間がより短かったことにのみ関連しており、TEE や PAL には関連していなかった。さらに、新体操選手において、SED や LPA といったより強度の低い活動の割合が大きくなっていることもなかった。

トレーニングの時間および量には種目差や個人差があったものの、新体操選手とラクロス選手の両方において、トレーニング量が PAL ともっとも強く関連していた。評価方法は本研究と異なるが、選手のエネルギー必要量を推定するために、トレーニング量の把握が重要であることを示した先行研究が存在する。Motonaga et al. (2006) は、男性陸上長距離選手において、HR 法で評価した TEE との間に有意な相関がみられたのはトレーニングによる EE のみであり、生活活動および睡眠による EE との間には相関がみられなかったことを報告している。

本研究では、いずれの種目においても、トレーニング量と PAL との間には有意な正の相関がみられたが、トレーニング時間は PAL と関連しなかった。このことは、通常トレーニング期における選手の PAL を推定するためには、トレーニング時間よりも、トレーニング量を把握することが重要であることを示している。同様に、Motonaga et al.

(2006) は、長距離選手の栄養管理に生かす指標として、トレーニングの時間や強度単独よりも、それらを組み合わせて求めたトレーニング量を用いるべきと述べている。

本研究では、トレーニングのある日とトレーニングのない日における、生活活動中の活動強度別の割合の違いを考慮していない。本研究対象者 22 名のうち 8 名は、測定期間にトレーニングのない日が含まれていなかったため、選手の生活活動のパターンが、トレーニングのある日とトレーニングのない日で変化するかどうかの検討ができなかった。さらに、本研究対象者は、1 週間に 3 日から 7 日トレーニングを行っており、対象者の 86% (22 名中 19 名) が 5 日以上トレーニングを行っていた。本研究対象者よりもトレーニングを行う頻度が少ない選手の場合には、PAL が生活活動の影響をより強く受ける可能性もある。

本研究の限界点は次の通りである。まず、本研究ではトレーニング量を、DLW 法で評価した TEE から、加速度計や活動記録によって評価した生活活動、入浴、非装着時間の活動量と睡眠の量を差し引くことによって、間接的に求めた。また、活動内容を評価するために DLW 法と加速度計法を用いたが、DLW 法は自由生活下における TEE 測定のゴールドスタンダード法である一方、加速度計法は間接熱量測定法と比較して EE を過大あるいは過小に評価することが知られており (Ainslie et al., 2003)、活動内容によって評価精度が異なっていたと考えられる。さらに、本研究では、対象者が加速度計を装着可能な時間の 90% 以上装着していた日を解析対象とした。このため、対象者によって解析対象とした日数にばらつきが生じた (2~8 日)。最後に、同じチーム内でも、個々の競技レベルやチーム内での役割によって、トレーニング時間やトレー

ニング量が異なると考えられるが、本研究ではその違いを検討しなかった。

本研究は、JISS（小清水ら, 2005）が定めた PAL の目安の値が、少なくとも「球技系」と「その他」の種目カテゴリーにおいて、選手の PAL を過小評価している可能性を明らかにした。また、同一種目の選手においても、PAL に大きなばらつきがあることから、種目カテゴリーごとに 1 つの PAL を設定することが適切でないことを示唆した。本研究結果を考慮すると、選手の PAL は、種目カテゴリーによって区分することよりも、トレーニングの時間や強度に基づいて区分することが望ましいかもしれない。今後さらに、活動内容、特にトレーニングの時間や量と、PAL との関連を明らかにする必要があるだろう。

Table 2-1. Characteristics of subjects

	Rhythmic gymnasts (n=11)	Lacrosse players (n=11)	<i>p</i> value
Age (yrs) *	19.6 ± 0.8	21.0 ± 0.4	< 0.001
BH (cm)	160.7 ± 4.3	158.9 ± 4.7	0.360
BW (kg)	48.9 ± 4.8	56.0 ± 4.6	0.002
BMI (kg/m ²)	18.9 ± 1.2	22.2 ± 1.7	< 0.001
BF (%)	18.2 ± 3.6	22.5 ± 2.6	0.004
FFM (kg)	37.1 ± 2.8	39.0 ± 2.1	0.086
RMR (kcal/day)	1119 ± 195	1219 ± 167	0.213
TEE (kcal/day)	2798 ± 247	2901 ± 280	0.372
PAL	2.59 ± 0.63	2.43 ± 0.46	0.498

Data are presented as mean ± SD. Continuous normally distributed variables were compared with Student's *t* test, and non-normally distributed variables were compared with the Mann-Whitney *U* test (*). Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Table 2-2. Duration, amount, and intensity of each daily behavior assessed by the DLW method and accelerometry

	Rhythmic gymnasts (n=11)	Lacrosse players (n=11)	<i>p</i> value
Duration (min/day)			
Training	324 (224 - 483)	184 (148 - 208)	< 0.001
Non-training	682 (514 - 770)	792 (738 - 829)	0.010
Sleep	400 (391 - 411)	447 (426 - 465)	0.023
Intensity (METs/day)			
Training	4.6 (4.4 - 5.5)	6.3 (4.9 - 8.5)	0.116
Non-training	1.7 (1.5 - 1.7)	1.7 (1.6 - 1.7)	0.519
Amount (METs · h/day)			
Training	30.8 (18.8 - 38.6)	19.5 (14.6 - 22.7)	0.016
Non-training	19.0 (14.7 - 20.0)	21.6 (20.1 - 22.9)	0.007
Sleep	6.7 (6.5 - 6.8)	7.5 (7.1 - 7.8)	0.019

Values are median (25th–75th percentile). The amount (MET·h) was calculated by multiplying the duration (hours) by the intensity (MET). Variables were compared using the Mann-Whitney *U* test. Statistical significance was set at $p < 0.05$. The intensity of sleep was fixed at 1.0 MET.

Table 2-3. Fraction of the duration and amount of different intensities of non-training PA assessed by accelerometry

	Rhythmic gymnasts (n=11)	Lacrosse players (n=11)	<i>p</i> value
Duration (%min/day)			
SED	60.4 ± 9.7	56.4 ± 4.4	0.946
LPA	32.3 ± 7.4	36.3 ± 4.8	
MPA	7.1 ± 2.8	7.0 ± 1.8	
VPA	0.2 ± 0.3	0.2 ± 0.3	
Amount (%METs ·h/day)			
SED	42.0 ± 10.3	38.1 ± 4.2	0.938
LPA	41.5 ± 6.4	45.6 ± 5.4	
MPA	15.6 ± 5.3	15.3 ± 3.8	
VPA	1.0 ± 1.4	1.0 ± 1.4	

Values are mean ± SD. No significant differences between sporting categories were found by χ^2 -test analysis.

Table 2-4. Correlations of PAL and the duration or amount of training and non-training PA

	Rhythmic gymnasts (n=11)		Lacrosse players (n=11)		Total (n=22)	
	γ_s	p	γ_s	p	γ_s	p
Duration (min/day)						
Training	0.182	0.593	0.336	0.312	0.210	0.348
Non-training	- 0.164	0.631	0.509	0.110	0.075	0.739
Amount (METs•h/day)						
Training	0.818	0.002	0.882	< 0.001	0.733	< 0.001
Non-training	- 0.324	0.331	0.391	0.235	0.074	0.744

Correlations between variables were assessed using Spearman’s rank correlation coefficients (γ_s). Statistical significance was set at

$p < 0.05$.

第3章

女性スポーツ選手の通常トレーニング期における総エネルギー消費量および活動内容 別エネルギー消費量の推定方法の考案

第1節

トレーニング中のエネルギー消費量を評価するための主観的運動強度に基づく活動記 録法の提案

3-1-1. 緒言

スポーツ選手の1日のTEEを知ることは、適切な食事管理を行うために重要である。著者らはこれまで、スポーツ選手のTEEを、自由生活下におけるTEE測定のゴールドスタンダード法であるDLW法(Montoye et al., 1996)を用いて評価してきた(吉田ら, 2012; 吉田ら, 2013)。しかしながら、DLW法では、測定期間を通しての1日当たりの平均TEEを測定するのみで、任意の時間のEEを評価することはできない。したがって、スポーツ選手において、トレーニングのある日とない日の1日あたりのTEEや、時間や強度の異なるトレーニングを行った日のTEEを比較するためには、DLW法以外の測定手法を用いる必要がある。

これまでに、スポーツ選手のトレーニング中のEEの評価には、HR法(Ekelund et al., 2002; 引原ら, 2005)、加速度計法(引原ら, 2005; Koehler et al., 2011)、活動記録法(引原ら, 2005; Eisenmann et al., 2007; Carlsohn et al., 2011)等が使用されてきた。しかしな

がら、HR 法や加速度計法では、トレーニング中に測定機器を装着する必要があるため、水中種目や、選手同士の接触のある種目のトレーニング中の EE を評価することは困難である。一方、活動記録法は、測定機器の装着の必要がないために、対象者への測定期間中の活動の制限がなく、いかなる種目の選手にも適用可能であることが、最大のメリットである。引原ら（2005）は、活動記録法で評価した選手のトレーニング中の EE を含む 1 日当たりの TEE が、DLW 法で評価した TEE と他の方法より一致していたことを報告している。

活動記録法によって EE を求める際に使用する活動強度は、多くの場合、活動区分表（Ainsworth et al., 2011）に基づいている。しかしながら、活動区分表には、すべての種目におけるトレーニング中の活動について、活動強度が詳細に記載されているのではない。このため、活動区分表にない活動については、活動区分表に記載された類似の活動をあてはめて活動強度を決定することになり、誤差が生じる可能性が考えられる。また、評価者が活動区分表から、対象者の記録した活動内容に合わせて活動を選択するため、選択された活動の強度が、実際に行われた活動の強度を正確に反映していない可能性がある。そのため、選手のトレーニング中の EE を評価する手段として、活動記録法を使用する場合には、活動強度をあてはめる際に発生する誤差を小さくする工夫が必要である。

RPE は、活動の強度を主観的に評価する指標である。RPE は、HR（Borg, 1973; Skinner et al., 1973a; Borg, 1982）だけでなく、VO₂（Skinner et al., 1973a; Smutok et al., 1980）との間にも有意な相関があることが知られている。近年、Foster et al.（2001）により、

選手のトレーニング量を定量化する方法として、session-RPE 法という方法が開発された。この session-RPE 法では、トレーニング終了後に、主なトレーニングメニューを行っていた間の平均 RPE を選手に尋ね、得られた値に各メニューの時間を乗じ、合計したものをトレーニング量とする。この方法により、1 日ごとや 1 週間ごとのトレーニング量の変化を図式化することが可能となり、これはトレーニング計画の達成度の評価や、次のトレーニング計画の構築に役立つとされている (Foster et al., 2001)。これまでに、長距離ランナー (Minganti et al., 2011) や、水泳 (Wallace et al., 2009)、ラグビー (McLean et al., 2010) 等、様々な種類の種目において、トレーニング量の評価に session-RPE 法が用いられている。また、session-RPE 法の妥当性 (Rodríguez-Marroyo et al., 2012; Scott et al., 2013) ならびに再現性 (Scott et al., 2013) が証明されていることから、RPE を用いてスポーツ選手のトレーニング量を定量化することは有効と考えられる。しかしながら、session-RPE 法では、これまで RPE と時間の積の和で表されるトレーニング量のみを評価し、トレーニング中の EE を求めている。また、セッションごとの平均 RPE を用いるため、特に長時間のセッションでは、1 セッション内の強度の変化を反映できない。

本研究では、RPE を使用してトレーニング中の EE を評価できる活動記録法を作成し、その妥当性を明らかにすることを目的とした。EE の妥当基準として HR 法により評価した値を用いるため、本研究では、間欠的な活動 (Achten et al., 2003) が少なく、トレーニング中の EE を HR 法により比較的正確に推定できると予想される、長距離選手を対象とした。

3-1-2. 方法

3-1-2-1. 対象者

対象者は大学の駅伝部に所属する女子学生 9 名であった。対象者は日本学生選手権あるいは関東学生選手権出場レベルで、通常トレーニング期における月間走行距離は 400-600km であった。対象者にはあらかじめ研究の目的、方法、危険性等を十分に説明し、文書による同意を得た。本研究は、早稲田大学の「人を対象とする研究に関する倫理委員会」ならびに（独）国立健康・栄養研究所の「独立行政法人国立健康・栄養研究所研究倫理審査委員会」より承認を得て、実施した。

3-1-2-2. 研究デザイン

測定は、2013 年 3 月の通常トレーニング期に行った。測定項目は、BH、BW、BF、FFM、座位および立位状態の RMR、運動負荷試験中の RPE、HR、VO₂、VCO₂ であった。RPE-EE 回帰式ならびに HR-EE 回帰式は、トレッドミルを用いた運動負荷試験中に同時に測定した RPE、HR、VO₂、VCO₂ から、個別に作成した。トレーニング中の EE は、8 日間のトレーニング時に、Flex-HR 法および RPE に基づく活動記録法により求めた。なお、本研究においては、トレーニング中の EE に、ウォームアップやクールダウン、トレーニングの間の休憩や着替えの時間に行った活動による EE を含めることとした。

3-1-2-3. 身体組成の測定

BH、BW、BF、FFM の測定は、測定期間開始の前日に測定した。BH は身長計 (YL-65, (株)ヤガミ, 名古屋) を用いて 0.1cm まで、BW は体重計 (HBF-362, オムロンヘルスケア(株), 京都) を用いて 0.1kg まで、それぞれ測定した。BMI は、BW (kg) を BH (m) の 2 乗で除して求めた。BF ならびに FFM は、二重エネルギー X 線吸収法 (Hologic QDR-4500, DXA Scanner, Hologic 社, Waltham, MA, USA) によって測定した。

3-1-2-4. 座位および立位における RMR の測定

対象者は、食後 6 時間以上が経過した後、快適な室温の測定室に来室し、座位にて 20 分以上安静にした。その後、マスクを装着し、座位ならびに立位安静状態における 10 分間の呼気を、ダグラスバッグにそれぞれ収集した。呼気ガス中の酸素および二酸化炭素濃度は呼気ガス分析装置 (AE-300S, ミナト医科学(株), 大阪) にて、呼気量は乾式ガスメーター (DC-5, シナガワ(株), 東京) を用いて測定した。Weir (1949) の式により、酸素および二酸化炭素摂取量から 1 分間あたりの RMR (kcal/min) を算出した。呼気の採集と同時に心拍数計 (RS400, Polar Electro OY, Kempele, Finland) を用いて 1 分ごとの HR を記録し、10 分間の平均値を座位および立位安静状態におけるそれぞれの HR とした。

3-1-2-5. トレッドミルを用いた運動負荷試験

対象者は、トレッドミルを用いた運動負荷試験を、Bruce プロトコール (Bruce et al.,

1973) の改良版を用いて実施した。改良版 Bruce プロトコールは、1 ステージ 3 分の計 8 ステージから成り、ステージが上がるごとにトレッドミルの速度および斜度が増加する。運動負荷試験は、すべての RMR の測定が終了した後に行った。VO₂ および VCO₂ は、呼気ガス分析装置 (AE-300S, ミナト医科学(株), 大阪) を用いて breath-by-breath 法により測定し、各ステージの最後の 1 分間の平均値を採用した。運動負荷試験中の HR は、心拍数計によって 1 分ごとに記録し、各ステージの最後の 1 分間の値を採用した。RPE は Borg スケール (Borg et al., 1987) を用いて各ステージの終了 1 分前に、測定者が対象者に口頭にて確認した。1) RPE が 19 以上、2) HR が 190 を超える、3) 呼吸商が 1.10 を超える、4) VO₂ がプラトーに達する (負荷を増加させても、VO₂ の増加が 2.0 mL/kg/min を下回る) の 4 つの基準のうち、2 つ以上を満たしている場合を、運動負荷試験の終了とした。

3-1-2-6. HR 法によるトレーニング中の EE の評価

トレーニング中に 1 分ごとの HR を、心拍数計 (RS400, Polar Electro OY, Kempele, Finland) により測定した。トレーニング中の EE は、1 分ごとの HR から Flex-HR 法 (Spurr et al., 1988) を用いて算出した。Flex-HR 値は、安静状態において記録された HR の最大値と、運動負荷時に記録された HR の最小値の平均値とした。本研究では、高校野球選手のトレーニング中の EE を Flex-HR 法によって評価した引原ら (2005) の研究を参考に、座位および立位安静状態における RMR の平均値を、Flex-HR 値以下の HR が観察された場合に当てはめた。Flex-HR 値を超える HR が記録された場合には、個別

に作成した HR-EE 回帰式から EE を求めた。このようにして算出した EE を合計し、1 回のトレーニング中の EE (kcal/session) を求めた。

3-1-2-7. 活動記録法によるトレーニング中の EE の評価

対象者は 8 日間にわたり、トレーニング中の主な活動内容とその活動を行っていた際の RPE を、配布された記録用紙に 5 分間隔で記録した。ただし、短時間で強度が変わったときに記録しやすいよう、RPE のみ 2.5 分間隔で記録できるようにした。活動記録用紙は、測定期間終了後にすべて回収した。活動記録用紙の記入漏れ等の確認は、少なくとも測定初日と記録用紙の回収時の 2 回、実施した。運動負荷試験中の RPE と VO_2 および VCO_2 から、個別に RPE-EE 回帰式を作成し、RPE を EE に換算した。ただし、RPE が 6 と記録された場合は、各個人の座位および立位安静状態の RMR の平均値を用いた。

トレーニング中の活動内容および EE の評価に用いる活動記録用紙の作成にあたり、記録用紙の記録間隔を決定するために、以下の調査を行った。対象は、大学の陸上長距離部または駅伝部に所属する学生 11 名（男性 5 名、女性 6 名）であった。対象者のそれぞれ 1 回のトレーニング中の EE を、観察法による要因加算法と Flex-HR 法によって評価した。観察法による要因加算法では、調査者が対象者個々のトレーニング中の活動をビデオカメラで撮影し、その映像をもとに、同一トレーニングに対して 1、5、10、15 分間隔の活動記録用紙に、それぞれ活動内容を記録した。観察された活動にもっとも近い活動を、活動時の体位や、歩・走行時の速度等を参考に活動区分表から選

択し、活動強度 (METs) をあてはめた。設定した記録間隔内に、強度の異なる活動が含まれていた場合には、その間隔全体に占める時間の割合がもっとも大きい活動の強度を採用した。EE は、活動強度に座位安静時の RMR を乗じて算出した。RMR の測定、Flex-HR 法、運動負荷試験は、本研究と同様に行った。

3-1-2-8. 統計解析

活動記録用紙に記載されたトレーニング時間のうち、Flex-HR 法のデータがある時間を、解析対象とした。トレーニング時間全体と、解析対象とした時間の EE は、活動強度別に 4 つに分類した (SED, $1.0\text{MET} \leq \leq 1.5\text{METs}$; LPA, $1.5\text{METs} <, < 3\text{METs}$; MPA, $3\text{METs} \leq, < 6\text{METs}$; VPA, $\geq 6\text{METs}$)。トレーニング時間全体と、解析対象とした時間における活動強度別 EE の比率は、 χ^2 検定によって比較した。活動強度には、活動記録法および Flex-HR 法で評価した 5 分ごとの EE (kcal/5min) を、5 分あたりに換算した座位安静状態の RMR (kcal/5min) で除した METs 値を使用した。対象者特性は、平均値 \pm SD と、最小値および最大値を示した。EE および METs 値は、正規分布していなかったため、中央値と 25 および 75 パーセンタイル値で示した。1 分ごとのトレーニング中の EE の比較は、Wilcoxon の符号付順位検定を用いて行った。活動記録法と Flex-HR 法によるトレーニングセッションあたりの EE は、対数変換した後、Pearson の積率相関係数によって相関関係を検討した。また、妥当性を ICC および 95% CI によって検討した。ICC による信頼性の判定は、Landis et al. (1977) の判定基準をもとに行った。系統誤差の有無は、Bland-Altman プロット (1986) により評価した。記録用紙の記録

間隔を決定するための調査では、1、5、10、15 分間隔で記録した活動記録法と Flex-HR 法で評価した EE を、Wilcoxon の符号付順位検定を用いて比較し、その結果を Bonferroni 法によって調整した。すべての統計解析は、統計ソフト (IBM SPSS Statistics version 20; IBM Corporation, Somers, NY, USA) を用いて行った。有意水準は 5%とした。

3-1-3. 結果

記録用紙の記録間隔を決定するための調査において、1、5、10、15 分間隔で記録した活動記録法の EE は、いずれも Flex-HR 法との間に有意差はなかった (Flex-HR 法: 1108 (355 – 1190) kcal/session; vs. 1 分間隔: 1081 (596 – 1234) kcal/session, $p = 0.409$; 5 分間隔: 1084 (609 - 1233) kcal/session, $p = 0.505$; 10 分間隔: 1057 (577 - 1264) kcal/session, $p = 0.619$; 15 分間隔: 1193 (673 – 1272) kcal/session, $p = 0.076$) (Table 3-1-1)。トレーニング中の EE の 85.8 %を占める VPA (≥ 6 METs) に限定して、同様の比較を行ったところ、1 分、5 分および 10 分間隔で記録した活動記録法では、Flex-HR 法の EE との間に有意差がみられなかったが (1 分間隔, $p = 0.328$; 5 分間隔, $p = 0.208$; 10 分間隔, $p = 0.409$)、15 分間隔では有意差がみられた ($p = 0.033$)。したがって、活動記録用紙を 10 分よりも短い間隔で作成することで、トレーニング中の EE を、Flex-HR 法と同程度の正確さで評価できると判断した。これに、調査者によるトレーニング内容の観察や、選手へのインタビューの結果を踏まえ、本研究では、5 分間隔の活動記録用紙を使用することとした。

本研究の対象者特性を Table 3-1-2 に示した。本研究対象者の競技歴は、平均 7.1 年

であった。本研究対象者の測定期間中のトレーニング時間は 99 ± 14 min/session で、このうち、解析対象となった時間は 83 ± 37 min/session であった。活動記録に記載されたすべてのトレーニング時間と、解析対象となった時間との間で、活動記録法により求めた活動強度別 EE の比率に、有意差はなかった ($p = 0.699$)。トレーニングセッションあたりの EE は、活動記録法では 572 ($418 - 699$) kcal/session で、Flex-HR 法 (494 ($381 - 663$) kcal/session) よりも有意に高値であり ($p < 0.001$)、EE の差は 77 ($-22 - 147$) kcal/session、推定誤差は 15.1 ($-2.7 - 31.9$) % であった。1 分あたりの EE は、活動記録法で 7.7 ($6.7 - 8.7$) kcal/min、Flex-HR 法で 6.8 ($6.0 - 7.7$) kcal/min であり、活動記録法の方が有意に高かった ($p < 0.001$)。2 法の間には有意な正の相関が認められ ($r = 0.892$, $p < 0.001$) (Figure 3-1-1)、ICC は 0.891 (95% CI: $0.845 - 0.923$) であった (Table 3-1-3)。活動記録法と Flex-HR 法による EE の Bland-Altman プロットを、Figure 3-1-2 に示した。2 法の EE の平均と差の相関は $r = 0.121$ ($p = 0.205$) であった。

3-1-4. 考察

本研究では、スポーツ選手のトレーニング中の EE を評価するために、RPE に基づく活動記録用紙を作成し、女性陸上長距離選手を対象にして、その妥当性を明らかにした。その結果、活動記録法による EE は、妥当基準とした Flex-HR 法の EE よりも有意に高値であったが、2 法間には有意な正の相関があり、高い級内相関係数が得られた。

本研究では、活動記録法による EE 評価の妥当性を検討する際の妥当基準として、

Flex-HR 法を採用した。HR 法は、TEE 測定のゴールドスタンダード法である DLW 法に次いで正確に TEE を測定できる方法とされ、FAO/WHO/UNU (2004) は、エネルギー必要量の基準値策定のために、HR 法を用いて TEE を評価した研究データも採用している。Spurr et al. (1988) は、自転車エルゴメーターによる、負荷量や時間の異なる 7 つの運動負荷試験時に、Flex-HR 法を用いて評価した EE の妥当性を、ヒューマンカロリメーターで評価した EE を妥当基準として検討した。その結果、2 法間に有意な正の相関 ($r = 0.94$) がみられ、平均値に有意差がなかったことから、運動中の EE 評価における Flex-HR 法の妥当性が確認されたことを報告している。一方、Flex-HR 法を用いて高校野球選手の TEE を評価した研究 (引原ら, 2005) では、DLW 法と比較して過大評価であったことを示している。引原ら (2005) は、この原因として、野球選手のトレーニング中に間欠的な活動が多く含まれていたことを挙げている。本研究対象者は陸上長距離選手であり、トレーニング中に間欠的な活動が少なかったことから、Flex-HR 法によって EE を大きく過大評価している可能性は低いと考える。

一般人において、HR 法によって評価した TEE は、DLW 法と比較して、集団レベルではよく一致していたが、個人レベルではばらつきが大きかったことを報告している研究が複数存在する (Schulz et al., 1989; Davidson et al., 1997; 海老根ら, 2002; Rafamantanatsoa et al., 2002; Ainslie et al., 2003; Leonard et al., 2003)。この理由として、前述のように間欠的な活動の EE を過大評価することに加えて、低強度の活動における EE の変動を正確に反映できないことが挙げられる。これは、低強度活動時や安静時には、心理状態や環境による影響等、 VO_2 の増加を伴わない HR の増大があり、HR

と VO_2 との関係が明瞭でないためとされている（加賀谷, 1986）。また、一般的に、 $\text{VO}_{2\text{max}}$ の 40%を超える強度の活動では、1 回拍出量はほぼ一定となり、心拍出量の増加は HR の増加に由来するが、これを下回るような強度の活動では、心拍出量の増加は、1 回拍出量と HR の両方の増加に由来する（Brouha et al., 1960）ため、このことも誤差を引き起こす要因の 1 つと考えられる。

本研究では、 $\text{RPE} = 7$ 以上の強度が記録された場合には、運動負荷試験において作成した個別の RPE-EE 回帰式にあてはめて EE を算出し、6 が記録された場合には、座位および立位安静時に測定された RMR の平均値を使用した。Flex-HR 法では、安静時と運動時の境界となる HR を Flex-HR 値と定め、これ以下の HR が記録された時間の EE には、仰臥位、座位、立位安静状態において測定した RMR の平均値をあてはめている（Spurr et al., 1988）。しかしながら、本研究の RPE-EE 回帰式は、トレーニング中の EE のみを評価することを想定しているため、 RPE が低い場合でも、日常生活における安静状態とは異なる。そこで、 $\text{RPE} = 6$ の活動に、座位と立位安静状態の RMR の平均値をあてはめた場合と、立位安静状態の RMR をあてはめた場合を比較したところ、トレーニング中の EE に有意差はなかった。トレーニング中に行われた活動のうち、 RPE が 6 と記録された活動の多くは、着替えやストレッチであった。また、 RMR 測定時の RPE は座位、立位ともに対象者全員が 6 であったが、運動負荷時に記録された RPE の最低値は 6 が 1 名、7 が 8 名であった。したがって、少なくとも本研究対象者の 9 名中 8 名においては、 RPE-EE 回帰式を用いて、 $\text{RPE} = 6$ のときの VO_2 を算出することが適切でない可能性がある。そこで、本研究では、 $\text{RPE} = 6$ の活動中の EE の評価

には、座位および立位安静状態の RMR の平均値を使用した。本研究において、トレーニング中に Flex-HR 値以下の HR を記録し、RMR をあてはめた時間の EE は、トレーニング中の EE 全体の約 1.4 %であった。したがって、Flex-HR 値以下の HR を記録した場合に RMR を使用することによる、トレーニング中の EE の評価誤差は小さいと考える。

活動記録法の EE は、Flex-HR 法よりも有意に高値であった。活動記録法が EE を過大評価した原因の 1 つとして、運動直後に RPE が安静レベルに戻るのに要する時間が、HR のそれよりも遅延した可能性が考えられる。Figure 3-1-3 は、実際に観察された、強度の高い活動を行った直後の RPE の低下が HR の低下と比較して緩やかであったために、トレーニング中の EE を過大評価した 1 例である。青木ら（1977）は、運動負荷上昇時と下降時における HR と VO_2 との関係は一様でないため、負荷の上昇時と下降時の 2 つの HR-EE 回帰式を作成することで、より信頼性が高まることを示している。本研究では、運動負荷試験の結果から負荷上昇時の RPE-EE 回帰式を作成した。負荷下降時の RPE-EE 回帰式を組み合わせることで、トレーニング中の EE の推定誤差にどのように影響するかについては、検討の余地がある。

RPE は、活動の強度だけでなく、その活動を行ったときの疲労感や身体の痛み、気温等によっても影響を受ける（Skinner et al., 1973b）。Skinner et al.（1973b）は、気温が 24℃と 32℃の各条件でトレッドミル走を行ったところ、同じ VO_2 （mL/kg/min）の強度でも、24℃に比べて 32℃において RPE が高くなったことを報告している。本研究の測定期間中の最高気温は 24.5℃であったため、本研究よりも高温の環境では、トレー

ニング中の EE をさらに過大評価する可能性がある。今後、RPE が大きく影響を受けると予測される条件で、RPE に基づく活動記録法の妥当性を検討することにより、本方法の適用可能範囲を明らかにできる。

女性陸上長距離選手において、RPE に基づく活動記録法によって評価したトレーニング中の EE と、妥当基準とした Flex-HR 法で評価した EE との間には有意な正の相関が見られ、高い級内相関係数が得られた。これは、RPE に基づく活動記録法によってトレーニング中の EE を評価することの有用性を示す結果であった。本研究で用いた活動記録法は、測定機器の装着が不要であるため、測定機器の装着が困難な水中種目の選手や、測定機器の装着により選手の安全を損なう可能性のある種目の選手にも、適用可能である。また、RPE に基づいて選手のトレーニング中の EE を評価するため、異なる種目の選手、あるいは同一種目で、ポジションや競技レベルによりトレーニング内容が異なる選手を対象とする場合においても、個別に RPE-EE 回帰式を作成することで、トレーニング中の EE を評価できる可能性がある。今後は他種目における妥当性の検討や、RPE の評価に誤差が生じやすい条件についても、検討を進める必要があるだろう。

Table 3-1-1. Comparisons of EE during training evaluated by Flex-HR method and activity record based on the factorial method by direct observation at different intervals

	Median	25th - 75th	<i>p</i> value [*]
Flex-HR method (kcal/session)	1108	355 - 1190	
Activity record based on the factorial method (kcal/session)			
1min	1081	596 - 1234	0.409
5min	1084	609 - 1233	0.505
10min	1057	577 - 1264	0.619
15min	1193	673 - 1272	0.076

^{*} vs. Flex-HR method performed by Wilcoxon signed-rank test

Table 3-1-2. Characteristics of female endurance runners

		Mean \pm SD	min. - max.
Age	(yrs)	20 \pm 1	19 - 21
BH	(cm)	161.2 \pm 4.5	156.3 - 172.1
BW	(kg)	47.9 \pm 4.2	44.3 - 59.0
BMI	(kg/m ²)	18.4 \pm 1.2	16.8 - 20.0
BF	(%)	15.7 \pm 2.9	10.5 - 19.0
FFM	(kg)	40.8 \pm 3.0	37.5 - 48.3
VO ₂ max	(mL/kg/min)	54.8 \pm 2.6	50.3 - 58.9

Data are presented as mean \pm SD and range of values (min. – max.).

Table 3-1-3. Comparison of EE during training estimated by Flex-HR method and RPE-based activity record

	Flex-HR method	RPE-based activity record	<i>p</i> value
EE (kcal/session)	499 381 - 663	572 418 - 699	< 0.001 [*]
Estimation error (%)		15.1	
ICC (95% CI)		0.891 (0.845 - 0.923)	< 0.001 [†]

EEs are presented as median (upper) and 25th - 75th percentile values (lower) and estimation error is presented as median.

EEs between 2 methods were compared using the Wilcoxon signed-rank test (^{*})

[†] calculated from ICC

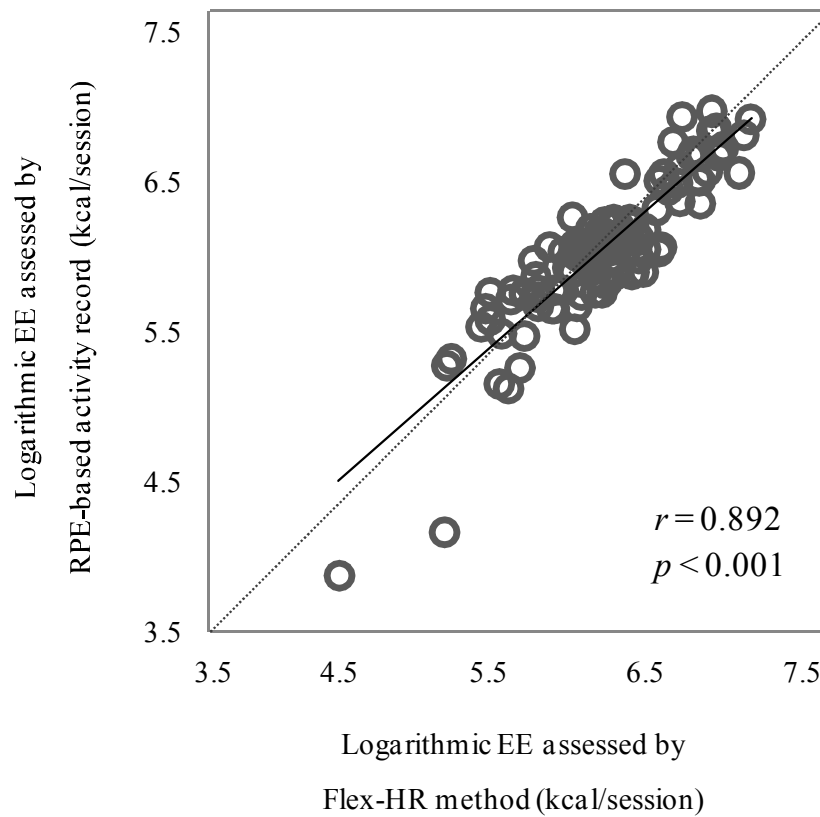


Figure 3-1-1. Relationship between training EE obtained by Flex-HR method and that by RPE-based activity record

A significant positive correlation between two methods ($r = 0.892$, $p < 0.001$) was obtained by Pearson's product-moment correlation coefficient.

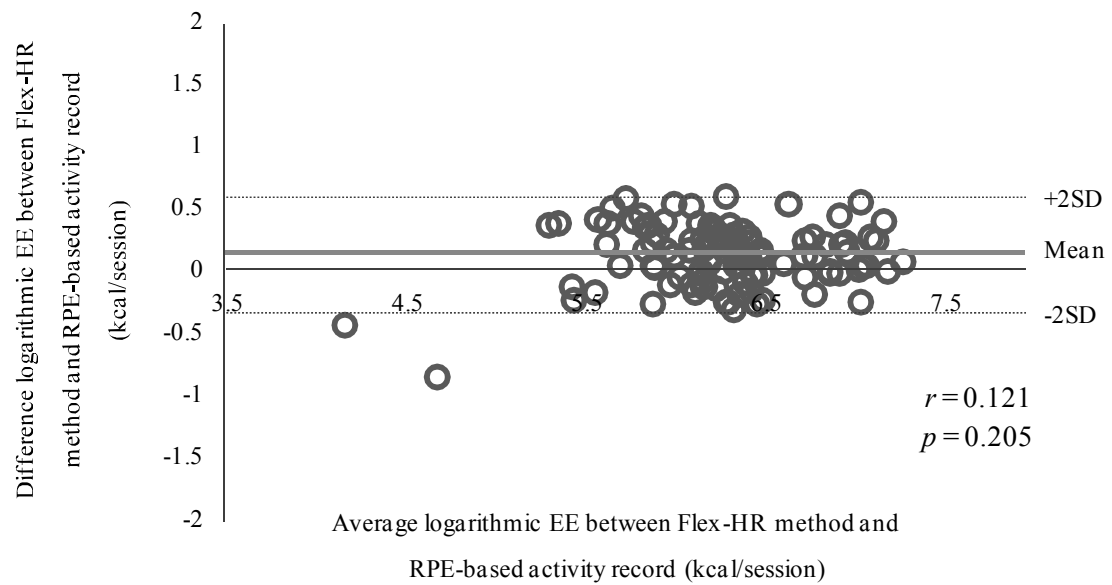


Figure 3-1-2. Bland-Altman plot shows the differences in estimated EE during training session between Flex-HR method and RPE-based activity record

No relation between average logarithmic EE and difference logarithmic EE ($r = 0.121$, $p = 0.205$) was confirmed by Pearson product-moment correlation coefficient.

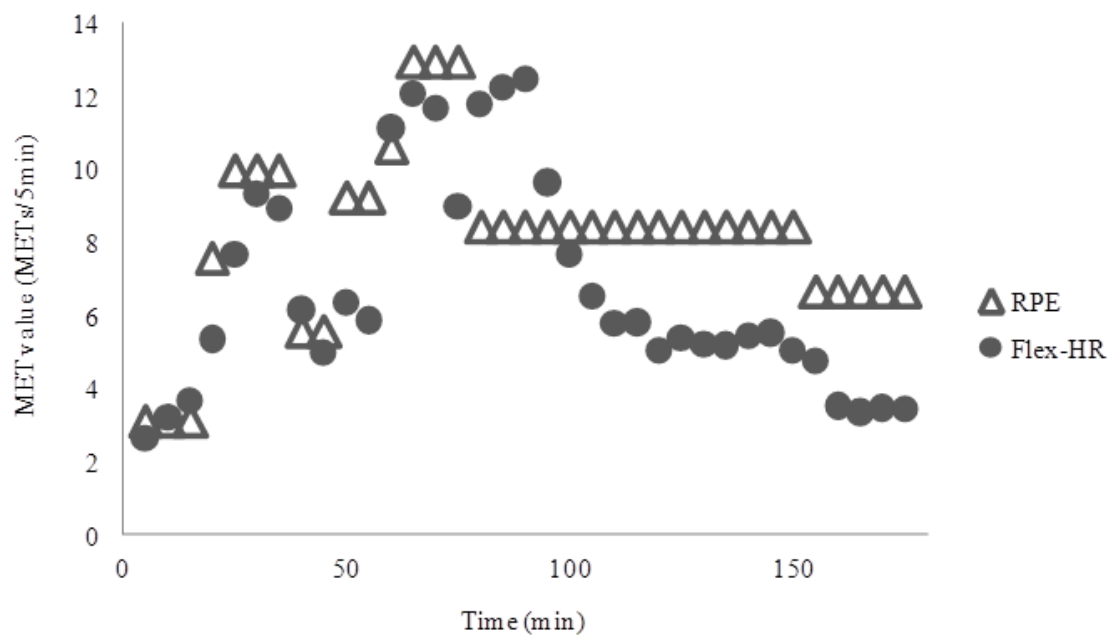


Figure 3-1-3. Relationship between MET values obtained by Flex-HR method and those by RPE-based activity record in typical training sessions

第 2 節

女性陸上長距離選手における活動記録法と加速度計法の併用法による総エネルギー消費量評価の妥当性の検討

3-2-1. 緒言

PAL のより大きいスポーツ選手が、どのような活動強度の活動をより多く行っているかを検討するためには、選手の活動内容（強度、時間、頻度）を明らかにする必要がある。これまでに、選手の活動内容は、HR 法、加速度計法、活動記録法で評価されてきたが、HR 法と加速度計法を単独で用いる場合には、トレーニング中にも測定機器を装着させる必要があり、適用可能な種目に限界がある。また、活動記録法を単独で用いると、選手への負担が大きく、主観的な評価方法であるため、記録された活動の活動強度を推定する際に誤差が生じやすく、結果の解釈が困難になる。選手の 1 日は、トレーニングを行っている時間とトレーニング以外の生活活動を行っている時間とに分類することができるが、トレーニング中の活動とそれ以外の生活活動とでは、活動の内容が大きく異なることが予測できる。したがって、選手の活動内容を評価するためには、単独の評価方法を用いるよりも、トレーニングと生活活動のそれぞれに適した評価方法を選択し、併用する方が優れているのではないかと考えた。以上のことから、選手の 1 日の活動をトレーニングとトレーニング以外の生活活動とに分け、それぞれ異なる方法によって EE を評価し、組み合わせて 1 日の TEE を求める併用法を提案することとした。

加速度計法は、スポーツ選手への適用には限界があるものの、一般人の活動内容を把

握するための測定手法としては優れている点が多く、現在では幼児から高齢者まで、活動量の多い者から少ない者まで、幅広い対象者において広く用いられている (Montoye et al., 1996; Plasqui et al., 2013)。加速度計法の強みは、総身体活動量の他に、PA の強度、頻度、時間を客観的に評価することが可能な点である (de Meester et al., 2011; Plasqui et al., 2013)。Westerterp (2001) は、一般人を対象に、加速度計法によって評価した活動強度別の活動時間と PAL との関係を検討したところ、低強度の活動を行っている時間の割合と PAL との間に有意な負の相関があり、中強度の活動と PAL との間に有意な正の相関がみられたが、高強度の活動と PAL との間には関連がみられなかったと報告している。すなわち、PAL が高い者ほど、相対的に低強度の活動に費やす時間が短く、中強度の活動を行っている時間が長い、高強度の活動の時間は PAL の大小に影響しないということを意味している。このように、加速度計法を用いることによって、客観的に評価した活動強度別の活動時間や活動量と PAL との関連を明らかにすることが可能である。そこで本研究では、第 2 章と同様に、選手のトレーニング以外の生活活動中の EE を評価するために、加速度計法を用いることとした。一方、トレーニング中の EE を評価する方法としては、第 3 章の第 1 節にて妥当性を証明した、RPE に基づく活動記録法を採用した。

本研究では、併用法による TEE の妥当性を検討するための妥当基準として、DLW 法を採用した。DLW 法は、前述の通り、自由生活下における TEE をもっとも高精度に測定することのできるゴールドスタンダード法とされている (Montoye et al., 1996)。齊藤ら (1999) は、これまでに呼気ガスチャンバーによって、DLW 法の TEE 測定の妥当性

を検討した研究によると、DLW 法の相対的な正確度は約 $\pm 4\%$ 、精密度は約 $\pm 7\%$ であったと報告している。この特徴のため、DLW 法は数多くの研究において、他の方法により測定した TEE や、食事調査法によって評価した測定期間中の平均エネルギー摂取量の妥当性を検討する際の、妥当基準として用いられている（Westerberp, 1999; Hill et al., 2001; Trabulsi et al., 2001; Ainslie et al., 2003; Burrows et al., 2010; Plasqui et al., 2013）。DLW 法では、対象者は DLW を摂取した後、測定期間中の規定された日時に採尿をするのみであり、活動の制限はないと言える。したがって、スポーツ選手のトレーニング中の EE を含む、測定期間中の TEE を正確に測定する方法として DLW 法は適していると考えられることから、本研究における併用法の妥当性検討のための妥当基準として用いることとした。

本研究では、女性陸上長距離選手を対象に、トレーニング中の EE は RPE に基づく活動記録法によって、トレーニング以外の生活活動中の EE は 3 軸加速度計を用いた加速度計法によってそれぞれ評価し、それらを組み合わせる併用法によって TEE を求めた。そして、DLW 法で測定した TEE を妥当基準としたときの、併用法で評価した TEE の妥当性を明らかにすることを、本研究の目的とした。

3-2-2. 方法

3-2-2-1. 対象者

対象者は大学の駅伝部に所属する女子学生 8 名であった。対象者は日本学生選手権あるいは関東学生選手権出場レベルであった。対象者にはあらかじめ研究の目的、方法、

危険性等を十分に説明し、文書による同意を得た。本研究は、早稲田大学に設置の人を対象とする研究に関する倫理委員会ならびに（独）国立健康・栄養研究所に設置の研究倫理審査委員会より承認を得て、実施した。

3-2-2-2. 研究デザイン

測定は、2013 年の通常トレーニング期に行った。測定項目は、BH、BW、BF、FFM、早朝空腹仰臥位の RMR、座位および立位状態の RMR、運動負荷試験中の RPE、 VO_2 および VCO_2 、8 日間の TEE、トレーニング中の EE、生活活動中の EE、主要栄養素およびアルコール摂取量であった。BH および BW は、早朝空腹仰臥位の RMR の測定前に測定した。また、測定期間中の BW の変化量を調査するため、測定期間終了後に、測定期間前の測定と同条件下にて、BW の測定を行った。BF および FFM の測定は、早朝空腹仰臥位の RMR の測定後に実施した。8 日間の TEE は DLW 法を用いて測定した。DLW 法と同期間のトレーニング中の EE は RPE に基づく活動記録法により、生活活動中の EE は加速度計法により、それぞれ求めた。RPE-EE 回帰式は、トレッドミルを用いた運動負荷試験中に同時に測定した RPE、 VO_2 および VCO_2 から、個別に算出した。主要栄養素およびアルコール摂取量は、3 日間の秤量法による食事記録法から求めた。

3-2-2-3. 身体組成の測定

対象者特性を Table 3-2-1 に示した。BH、BW、BMI、BF ならびに FFM、第 3 章の第 1 節と同様の方法、機器を用いて測定した。

3-2-2-4. 早朝空腹仰臥位における RMR の測定

対象者は測定前日の 20 時までに夕食を済ませて測定室に来室し、宿泊した。翌朝 6 時に起床し、排尿を済ませ、BH および BW の測定を行った。マスクを装着し、仰臥位にて 20 分以上安静にした後、10 分間の呼気をダグラスバッグに 2 回採集した。呼気ガス中の酸素および二酸化炭素濃度は呼気ガス分析装置 (AE-300S, ミナト医科学(株), 大阪) にて、呼気量は乾式ガスメーター (DC-5, シナガワ(株), 東京) を用いて測定した。Weir (1949) の式により、酸素および二酸化炭素摂取量から 1 分間あたりの RMR (kcal/min) を算出した後、これを 1440 分に換算して 1 日あたりの RMR (kcal/day) とした。

3-2-2-5. 座位および立位における RMR の測定

第 3 章の第 1 節と同様の条件下で、同様の方法、機器を用いて対象者の座位ならびに立位安静状態における 10 分間の呼気をそれぞれ収集し、呼気ガス中の酸素および二酸化炭素濃度、呼気量を測定した。Weir (1949) の式により、酸素および二酸化炭素摂取量から 1 分間あたりの RMR (kcal/min) を算出した。

3-2-2-6. トレッドミルを用いた運動負荷試験

対象者は、トレッドミルを用いた運動負荷試験を実施した。運動負荷試験は、第 3 章の第 1 章と同様の方法、機器を用いて行った。これらの結果から、RPE-EE 回帰式を個別に作成した。

3-2-2-7. 活動記録法によるトレーニング中の EE の評価

対象者は 8 日間にわたり、トレーニング中の主な活動内容とその活動を行っていた際の RPE を、配布された記録用紙に 5 分間隔で記録した。活動記録用紙は、測定期間終了後に測定者によって回収された。活動記録用紙の記入漏れ等の確認は、少なくとも測定初日と記録用紙の回収時の 2 回、実施した。第 3 章の第 1 節と同様の方法によって RPE を EE に換算して合計した後、1 日当たりのトレーニング中の EE (kcal/day) を求めた。

3-2-2-8. 加速度計法による生活活動時間中の EE の評価

対象者は 8 日間にわたり、トレーニング時、着替え時、入浴時を除く覚醒時間中に、加速度計 (Active Style Pro HJA-350IT, オムロンヘルスケア(株), 京都) を、右腰部に装着した。対象者には、加速度計の脱着時刻の記録用紙を配布し、加速度計を装着および取り外しをした時刻と、その理由を記録させた。睡眠時間を把握するため、加速度計の脱着時刻と起床および就寝時刻が異なる場合には、起床および就寝時刻を別枠に記入するよう依頼した。加速度計は、測定期間終了後に記録用紙とともに回収し、コンピューターに接続して内部に記録されたデータを取り込んだ。

本研究で使用した加速度計は、大きさ 80mm×20mm×50mm、重量 60g であり、3 軸の合成加速度から単位時間あたりの活動強度を推定することができるものであった。本研究では、活動強度を 1 分間隔で求めた。多くの先行研究 (Matthews et al., 2008; Troiano

et al., 2008; de Meester et al., 2011; Tudor-Locke et al., 2011; Hagströmer et al., 2010; Gabriel et al., 2012; Gomersall et al., 2012; Hansen et al., 2012) と同様に、加速度計により加速度が検出されない時間が 60 分以上連続した場合は、その時間に加速度計を装着していなかったと判断した。一般人においては、生活パターンを考慮し、加速度計を装着した時間が 1 日あたり 600 分以上である日のデータを解析対象とする研究が多い (Machado-Rodrigues et al., 2012; Hsu et al., 2011; Peters et al., 2010; McClain et al., 2007; Riddoch et al., 2007; Mâsse et al., 2005; Ekelund et al., 2004)。しかしながら、スポーツ選手はトレーニングを長時間にわたって行っており、一般人と比較して生活活動の時間が短い可能性がある。本研究ではトレーニング中に加速度計を装着しないように依頼したため、加速度計を装着可能な時間そのものが、一般人よりも短いと考えられる。したがって、解析対象とするか否かの判断基準を、1 日あたり 600 分とするのは適切でないと推察される。そこで本研究では、第 2 章と同様に、実際の加速度計の装着時間が、1 日のうちの睡眠、トレーニング、着替え、入浴等を除いた、加速度計の装着が可能な時間の 90%以上である日のデータを解析対象とすることとした。この結果、解析対象となった日数は平均 7.1 日となった。

3-2-2-9. 併用法による TEE の測定

TEE は、活動記録法によって求めたトレーニング中の EE と加速度計法で求めたトレーニング以外の生活活動中の EE に、睡眠中、入浴中、加速度計の非装着時間の推定 EE を加えて求めた。睡眠中の EE は座位安静状態における RMR をあてはめ、入浴中の EE

は座位安静状態の RMR に 1.5 を乗じて、それぞれ推定した (Ainsworth et al., 2011)。加速度計の非装着時間の EE は、加速度計法によって求めた生活活動中の平均 METs 値を用いて推定した。

3-2-2-10. DLW 法による TEE の測定

10.0atom%¹⁸O(大陽日酸(株), 東京)と 99.9atom%²H(Cambridge Isotope Laboratories Inc., Andover, MA, USA) の混合液により, BW1kg 当たり 0.14g の ¹⁸O と 0.06g の ²H を経口投与した。対象者は、早朝空腹時に尿の採取と BW 測定を行った後に、DLW を摂取した。対象者は、翌日から 8 日目まで、1 日 1 回、10 分以内の範囲でのほぼ同時刻に採尿し、採尿した時刻を記録した。

サンプルは密閉した状態で、分析まで-30℃で保存した。²H は白金を触媒として H₂ ガスで、¹⁸O は CO₂ ガスで平衡法により前処理を行った後、²H および ¹⁸O の安定同位体比を質量比分析計 (Finnigan Delta Plus, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA) により分析した。

安定同位体の減衰率および二酸化炭素の排出量は、第 2 章と同様にして求めた。また、本研究の FQ は、3 日間の食事調査によって求めた各主要栄養素の摂取量から Black ら (1986) の式を用いて算出し、TEE は Weir (1949) の式より求めた。

3-2-2-11. 食事調査

食事調査は、秤量法による食事記録法を用いて行った。対象者に記録用紙とデジタル

クッキングスケール (KD-176-WH, (株)タニタ, 東京) を配布した。対象者は、測定期間中の任意の 3 日間に飲食したすべての食品について、記録用紙に食事区分、食事の時間、食事場所、料理名 (商品名)、使われている食材名、食べた分量を記入した。食事前および食べ残した場合には食事後にも、デジタルカメラを使用して写真撮影をした。測定期間終了後、ただちに記録用紙を回収し、撮影された画像と記録用紙とを照合しながら、食事調査のトレーニングを受けた管理栄養士が対象者に対し、記録内容の確認を行った。栄養素および食品群別の摂取量は、5 訂増補日本食品標準成分表に準拠した栄養計算ソフト (エクセル栄養君 Ver.6.0, (株)建帛社, 東京) を用いて計算し、調査期間中における 1 日当たりの主要栄養素およびアルコール摂取量を算出した。

3-2-2-12. 統計解析

対象者特性、TEE、AEE、PAL、活動強度別 EE は、それぞれ平均値と SD で示し、さらに対象者特性に関するデータは、最小値および最大値を示した。DLW 法および併用法によって求めた TEE から、TEE の 10%と仮定した食事誘発性熱産生 (Schutz et al., 1984) と、早朝空腹仰臥位における RMR を減じた値を、AEE とした。PAL は、TEE を早朝空腹仰臥位における RMR で除して求めた。

DLW 法および併用法で評価した TEE、AEE、PAL の比較は、対応のある t 検定を用いてそれぞれ行った。また、併用法と DLW 法でそれぞれ評価した TEE、AEE、PAL の相関関係は、Pearson の積率相関係数を用いて検討した。2 法により評価した TEE、AEE、PAL の直線回帰式の傾きと、 $y = x$ (identity line) の傾きの差は、共分散分析によって検

討した。併用法による TEE、AEE、PAL 評価の妥当性は、ICC および 95% CI によって検討した。ICC による妥当性の判定は、Landis et al. (1977) の判定基準をもとに行った。系統誤差の有無は、Bland-Altman プロット (1986) により評価した。

トレーニングおよび生活活動中の EE は、活動強度別に SED ($1.0\text{MET} \leq \leq 1.5\text{METs}$)、LPA ($1.5\text{METs} <, < 3\text{METs}$)、MPA ($3\text{METs} \leq, < 6\text{METs}$)、VPA ($\geq 6\text{METs}$) の 4 つに分類した。併用法による TEE の推定誤差と、トータルおよび活動強度別の EE との相関関係は、Pearson の積率相関係数によって検討した。

すべての統計解析は、統計ソフト (IBM SPSS Statistics version 20; IBM Corporation, Somers, NY, USA) を用いて行い、有意水準を 5% とした。

3-2-3. 結果

対象者の競技歴は、 7.5 ± 2.0 年であった。測定期間のうち、対象者がトレーニングを行っていた日数は中央値で 7.5 日であり、8 名のうち 4 名は 8 日間の測定期間中に毎日、残りの 4 名も 7 日間、トレーニングを行っていた。1 日当たりのトレーニングセッション数は 1.9 ± 0.2 回、1 日当たりのトレーニング時間は 172 ± 25 分であった。

本研究対象者のトレーニング中の EE は 1310 ± 316 kcal/day、トレーニング以外の生活活動中の EE は 1216 ± 244 kcal/day であった (Table 3-2-2)。トレーニング中の EE の大部分 (約 93%) は、VPA による EE が占めていた。一方、生活活動中の EE の半分以上は、比較的低強度の活動 (SED および LPA) の EE が占めていた。

DLW 法と併用法でそれぞれ評価した TEE、AEE、PAL に、有意差はみられなかった

(Table 3-2-3)。併用法による TEE、AEE、PAL の推定誤差は、それぞれ $-0.2 \pm 8.8 \%$ 、 -0.5 ± 15.0 、 $-0.2 \pm 8.8 \%$ であり、ICC はそれぞれ 0.785、0.841、0.779 であった。2 法間の TEE、AEE、PAL には、有意な正の相関がみられた (TEE: $r = 0.837$, $p = 0.090$, AEE: $r = 0.835$, $p = 0.010$, PAL: $r = 0.869$, $p = 0.005$) (Figure 3-2-1)。併用法で評価した TEE、AEE、PAL の直線回帰式の傾きと、 $y = x$ (identity line) の傾きとの間には、いずれも有意差はみられなかった。また、2 つの方法で評価した AEE と PAL の差の平均値 (95% CI) はそれぞれ、1 (-209 – 212) kcal/day、0.00 (-0.20 – 0.20) であり、いずれも系統誤差はみられなかった (Figure 3-2-2)。

Table 3-2-4 は、併用法による TEE の推定誤差と、トレーニングおよび生活活動中の EE との相関関係を示した表である。TEE の推定誤差は、トレーニング中のトータルの EE との間に有意な正の相関がみられ、活動強度別に検討すると、VPA の EE との間にのみ有意な正の相関がみられた ($r = 0.824$, $p = 0.012$)。TEE の推定誤差と生活活動中の EE との間には、有意な相関はなかった。

3-2-4. 考察

本研究では、スポーツ選手の TEE を求める新しい方法として、トレーニング中の EE を活動記録法によって、トレーニング以外の生活活動中の EE を加速度計法によってそれぞれ評価し、組み合わせる併用法を提案した。また、女性陸上長距離選手を対象に、DLW 法により評価した TEE を妥当基準としたときの、併用法で評価した TEE と、これらの TEE を用いて算出した AEE および PAL の妥当性を検討した。その結果、TEE、AEE、

PAL のいずれも、妥当基準と比較したときの妥当性は良好であった。したがって、女性陸上長距離選手における通常トレーニング期の TEE、AEE、PAL を求める方法として、併用法は有効であることが示唆された。

本研究において、対象者の生活活動中の EE を評価するために用いた 3 軸加速度計 (Active Style Pro) は、合成加速度と、鉛直方向と水平方向の加速度の比率から、歩行と歩行以外の活動を判別し、それぞれ別の推定式を用いて EE を評価する (Midorikawa et al., 2007; Oshima et al., 2010) という特徴を持つ。Hikihara et al. (2012) は、歩数計機能に基づく加速度計、3 軸の合成加速度のみから EE を推定する 3 軸加速度計、本研究で用いた Active Style Pro とは異なるが、歩行と歩行以外の活動の判別法を用いた 3 軸加速度計 (ActivTracer) を用いて、5 種類の代表的な生活活動 (デスクワークをする、掃除機をかける、洗濯物を干す、皿洗いをする、5kg の荷物を移動させる) と、7 種類の歩行および走行 (階段を下りる、階段を上る、ゆっくりとした速度で歩く (3.3 km/h)、普通速度で歩く (4.2 km/h)、早歩きをする (6.0 km/h)、3kg の荷物を持って歩く (4.2 km/h)、走る (男性: 8.4 km/h, 女性: 7.2 km/h)) を行っている時の EE を推定し、ダグラスバッグ法によって実測した EE を妥当基準としたときの妥当性を検討した。その結果、歩行と歩行以外の活動を判別して EE を推定する 3 軸加速度計は、実測値との有意差はあるものの、生活活動中および“走る”の EE をより正確に評価できていたことを報告している。また、Ohkawara et al. (2011) は、4 種類の生活活動時と 7 種類の歩行および走行時の活動強度を、Active Style Pro による加速度計法とダグラスバッグ法でそれぞれ評価したところ、2 法間に有意な正の相関があり、系統誤差がみられなかったことを報告して

いる。スポーツ選手の1日の活動をトレーニングと生活活動とに分類し、生活活動の内容が一般人と異なるかどうかの検討を行っている研究がないために断言はできないが、スポーツ選手だからといって、「一般人と同様の評価方法を用いて EE を推定することが困難なほど、生活活動の内容が一般人と大きくかけ離れている」とは考えにくい。また、田中（2012）によって、生活活動中の EE を加速度計法等により比較的正確に推定できれば、トレーニング中の EE を別の方法で評価することにより、スポーツ選手の TEE を従来よりも正確に推定できる可能性があるのではないかと提案されており、本研究のように、選手の生活活動中の EE を **Active Style Pro** を用いた加速度計法によって評価することは、有効と考えられる。

本研究対象者のトレーニング中の EE は、先行研究（第3章、第1節）で妥当性を明らかにした **RPE** に基づく活動記録用紙を用いた活動記録法によって評価した。すべての対象者は測定期間中に、走行に加えて筋力トレーニングを行っていた。これらの幅広い活動を含んでいるにもかかわらず、トレーニング中の EE を活動記録法で評価したときの併用法の妥当性は良好であった。本研究で用いた活動記録法は、トレーニングの大部分を走行が占めると考えられる陸上長距離選手の、トレーニング中の EE を評価することを目的に開発されたため、**RPE-EE** 回帰式を作成する際の運動負荷をトレッドミル走によって行っている。また、第3章の第1節では、対象者が心拍数計を装着した状態で実施したトレーニング中の EE についてのみ、妥当性の検討を行った。したがって、トレーニング中に行われた走行以外の活動中の **RPE** と EE が、運動負荷試験によって個別に作成した **RPE-EE** 回帰式にどの程度あてはまるかは不明である。しかしながら、少

なくとも本研究の測定期間中に行われたトレーニング内容の範囲では、RPE に基づく活動記録法によって、陸上長距離選手のトレーニング中の EE を連続的に評価し、加速度計法と組み合わせて TEE を求める方法が有効である可能性が示された。

本研究では、併用法による TEE の妥当性を検討するための妥当基準として、DLW 法を採用した。DLW 法は、前述の通り、自由生活下における TEE をもっとも高精度に測定することのできるゴールドスタンダード法とされている (Montoye et al., 1996)。本研究において、対象者の平均 TEE は 3032 kcal/day であり、同位体比の分析結果から、DLW の投与量は妥当であったと考えられる。以上のことから、DLW 法で測定した本研究対象者の TEE は、妥当基準となりうる値であったと判断できる。

Koehler et al. (2011) は、男性陸上長距離選手を対象に、上腕に装着するタイプの 2 軸加速度計 (SenseWear Pro3 Armband, BodyMedia 社製) を用いて評価した TEE の妥当性を、DLW 法で測定した TEE を妥当基準として検討した。その結果、TEE の平均値の差は小さかったが、信頼限界値は -1368~1238 kcal/day で、2 法で評価した TEE の平均値と差との間に有意な負の相関があり、TEE が大きい者ほど過小評価していた。Koehler et al. (2011) は、トレッドミル走において、速度の増加に伴い、実測した VO_2 から求めた EE は増加するが、加速度計 (SenseWear Pro3 Armband) によって求めた EE は増加しなかったことと、速度の速い走行時ほど、実測した EE に比べて加速度計法による EE は過小評価していたことを確認している。このことから、Koehler et al. (2011) は、加速度計法によって TEE が過小評価された原因は、より強度の高い活動中の EE を過小評価したためとしている。本研究において、DLW 法で測定した TEE を妥当基準としたと

きの、併用法による TEE の推定誤差は-0.2 %であり、信頼限界値は-550～552 kcal/day であった。これらの結果は、陸上長距離選手の TEE を評価するために、すべての活動中の EE を 2 軸加速度計法によって評価するよりも、選手の 1 日の活動をトレーニングと生活活動とに分類し、生活活動中の EE は 3 軸加速度計法によって、より強度の高い活動を多く含むと予測されるトレーニング中の EE は、加速度計法ではなく活動記録法によってそれぞれ評価し、組み合わせる併用法の方が、より高精度に陸上長距離選手の TEE を評価することが可能であることを示唆している。

TEE の推定誤差は、トレーニング中の高強度（6 METs 以上）の活動による EE とのみ有意な正の相関を示し、トレーニング中の他の強度の EE や生活活動中の EE とは有意な相関を示さなかった。すなわち、トレーニング中の VPA の EE が多い者ほど、併用法による TEE 評価の推定誤差が正の方向に大きくなり、VPA の EE が少ない者ほど、TEE 評価の推定誤差が負の方向に大きくなることを示す。本研究対象者 8 名の TEE 推定誤差とトレーニング中の VPA の EE との関係から回帰式を作成したところ、VPA の EE が 1263 kcal/day のときに TEE 推定誤差が 0 %となることが明らかとなった。併用法による TEE 評価の推定誤差の大小に、トレーニング中の VPA の EE が関連することは、言い換えれば、併用法による TEE 評価の推定誤差をさらに小さくするために、RPE を用いた活動記録法によって、トレーニング中の大部分を占める VPA の EE をより正確に推定できるよう改良する必要がある可能性を示すものである。その一方で、トレーニング中の VPA 以外の強度の活動を十分に評価できなかったため、結果として VPA と TEE 推定誤差との有意な相関がみられた可能性も否定できない。いずれにしても、活動記録

法で評価したトレーニング中の EE (1310 kcal/day) と、加速度計法で評価した生活活動中の EE (1216 kcal/day) に有意差がなかったにも関わらず、生活活動中の EE と TEE 評価の推定誤差との間に有意な相関がみられなかったことから、TEE 推定誤差にはトレーニング中の活動の EE が関連していることが推察される。

本研究には、2つの限界点がある。第1に、DLW 法により測定した TEE を妥当基準としたため、測定日ごとの TEE の変動を評価することができず、どのような生活パターンの日（例えば、トレーニング時間がより長く、生活活動に費やす時間がより短い日等）にどの程度正確に評価できていたかを検討することができなかった。したがって、本研究対象者と類似した生活パターンの陸上長距離選手では、ある程度正確に TEE を評価することが可能と考えられるが、生活パターンが大きく異なる対象者においては、どの程度正確に評価できるかは不明である。本研究対象者は、トレーニング日が週6日以上、1日のトレーニング時間の平均が約3時間であった。これよりもトレーニングの頻度や時間が非常に多い（長い）、あるいは少ない（短い）対象者において、併用法により本研究対象者と同程度に TEE を評価することができるかは、本研究結果からは判断できない。第2に、妥当基準（DLW 法）と併用法の測定期間が必ずしも一致しないことである。本研究では、加速度計の装着時間が、加速度計を装着可能な時間の 90 % 以上であった日を解析対象としたが、この日の活動記録に不備があった場合、測定期間中の他の日で、トレーニングを行った時間やトレーニングの内容が類似している日のセッションあたりの平均 EE を算出し、不備のあった部分に当てはめた。加速度計法については、一般成人において 3-5 日にわたり加速度計を装着することで、習慣的な身体活

動量を評価することが可能であると考えられている (Trost et al., 2005)。しかしながら、RPE に基づく活動記録法によって測定期間におけるトレーニング中の EE の代表値を評価するために、何日分の記録が必要かの検討はできていない。本研究では、併用法と DLW 法で評価した TEE に違いはなかったが、これは本研究対象者のコンプライアンスが高く、不備のあった者が少なかったためかも知れない。加速度計法と活動記録法の併用法をより発展させるために、異なる記録日数の活動記録法から得られた EE を用いて併用法により評価した TEE の妥当性を比較し、解析対象とする測定日の基準や、測定を行う日数の設定について検討する必要があるだろう。

本研究では、選手の 1 日をトレーニングと、トレーニング以外の生活活動とに分類し、トレーニング中の EE を活動記録法で、生活活動中の EE を加速度計法でそれぞれ評価し、組み合わせて TEE を求める併用法の妥当性を検討した。大学女性陸上長距離選手 8 名において、併用法で評価した TEE は、妥当基準である DLW 法で評価した TEE との間に有意差がなく、推定誤差は $-0.2 \pm 8.8 \%$ と、先行研究 (Ekelund et al., 2002; 引原ら, 2005; Koehler et al., 2011) の半分程度かそれ以下であった。また、信頼限界値は $-550 \sim 552 \text{ kcal/day}$ であり、先行研究 (Ekelund et al., 2002; 引原ら, 2005; Koehler et al., 2011) と比較してより狭い値であった。さらに、2 法間にはいずれも有意な正の相関が認められ、系統誤差もみられなかった。したがって、活動記録法と加速度計法の併用法は、陸上長距離選手の TEE を評価する方法として有効であると判断した。そして、本研究結果から、併用法によって従来の方法よりも、正確かつ高精度に陸上長距離選手の TEE を評価できる可能性が示された。

併用法のメリットは、トレーニング中に測定機器を装着する必要がないことである。また、RPEに基づく活動記録法では、測定者は対象者によって記録された RPE から EE を算出するため、1) 従来の活動記録法における推定誤差の一因とされていた、対象者と測定者の間の、活動強度の認識の相違が発生しないこと、2) 対象者は行った活動の RPE を 5 分間隔で記録するのみで、活動内容を詳細に記録する必要がないため、従来よりも対象者の負担が小さいこと、がメリットとして挙げられる。また、TEE の推定精度に関して、活動記録法と加速度計法の併用法は、従来の測定手法と比較して、より高精度にスポーツ選手の TEE を評価可能である。スポーツ選手の TEE を HR 法、加速度計法、活動記録法をそれぞれ単独で使用して評価した先行研究によると、DLW 法で評価した TEE を妥当基準としたときの信頼限界値はそれぞれ-694~742 kcal/day (Ekelund et al., 2002 : 論文中に記載された推定誤差の平均値とその SD から算出) および-797~3875 kcal/day (引原ら, 2005)、-2293~-1192 kcal/day (引原ら, 2005) および-1368~1238 kcal/day (Koehler et al., 2011)、-1350~-21 kcal/day (引原ら, 2005) であったが、今回用いた併用法の信頼限界値は-550~552 kcal/day であった。未だ改善の余地はあるが、従来の測定手法と比較して、TEE の推定精度が高くなっていることは確かである。推定誤差の平均値も、従来の方法と比較してかなり小さい (-0.2 %)。今回の方法でエネルギー必要量の推定が実用上十分なレベルに到達したとは言えないが、将来、個人のエネルギー必要量を提示できるようになる過程で、確実な一歩にはなったと考えている。また、トレーニング中あるいは生活活動中における活動量のモニタリングとしては、既に現場での応用が可能であるかもしれない。今後は、併用法が他種目の選手にも適用可能であるか、環境や身体状況等によって、選手の RPE

の判断にどのような影響がどの程度あるか、それらを補正することが可能であるかを明らかにすることで、種目やトレーニング中の活動内容を限定することなく使用可能な、スポーツ選手の活動量の評価手法として併用法を活用できると考えられる。

Table 3-2-1. Characteristics of female endurance runners (n=8)

		Mean \pm SD	Range
Age	(yrs)	20 \pm 1	19 - 21
BH	(cm)	160.0 \pm 2.2	157.0 - 162.6
BW	(kg)	46.7 \pm 2.4	44.3 - 50.2
BMI	(kg/m ²)	18.3 \pm 1.2	16.8 - 20.0
BF	(%)	15.6 \pm 2.3	11.8 - 18.4
FFM	(kg)	39.8 \pm 1.7	37.5 - 43.0
VO ₂ max	(mL/kg/min)	54.1 \pm 2.3	50.3 - 57.7

Data are presented as mean \pm SD and range of values (min. - max.).

Table 3-2-2. Total and different intensities of EE during training, non-training PA and sleep evaluated by the combined method

	Training	Non-training	Sleep
Total (kcal/day)	1310 \pm 316	1216 \pm 244	425 \pm 50
SED (kcal/day)	22 \pm 13	357 \pm 83	-
LPA (kcal/day)	2 \pm 5	475 \pm 161	-
MPA (kcal/day)	48 \pm 44	237 \pm 84	-
VPA (kcal/day)	1259 \pm 340	26 \pm 26	-

The data are presented as mean \pm SD.

Training EE was estimated by the RPE-based activity record.

EE of non-training PA was evaluated by accelerometry.

Sleeping EE was calculated as individual RMR per minute multiplied by the duration of sleep.

Table 3-2-3. Comparisons of estimated TEE, AEE and PAL between the DLW method and the combined method

	the DLW method	the Combined method
TEE (kcal/day)	3032 ± 344	3033 ± 495
Estimation error (%)		-0.2 ± 8.8
ICC		0.785**
(95% CI)		(0.248 - 0.953)
AEE (kcal/day)	1585 ± 303	1586 ± 442
Estimation error (%)		-0.5 ± 15.0
ICC		0.841**
(95% CI)		(0.398 - 0.966)
PAL	2.68 ± 0.37	2.68 ± 0.48
Estimation error (%)		-0.2 ± 8.8
ICC		0.779**
(95% CI)		(0.235 - 0.952)

Data are presented as mean ± SD, ICCs, and 95% CIs. ** $p < 0.01$

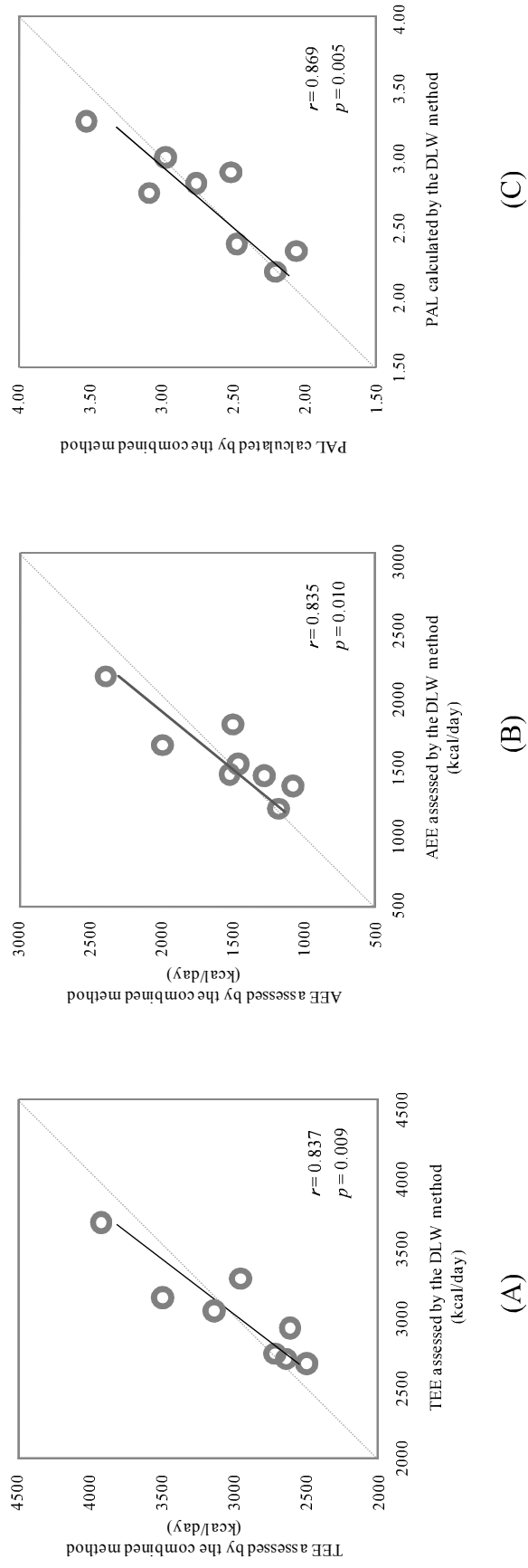
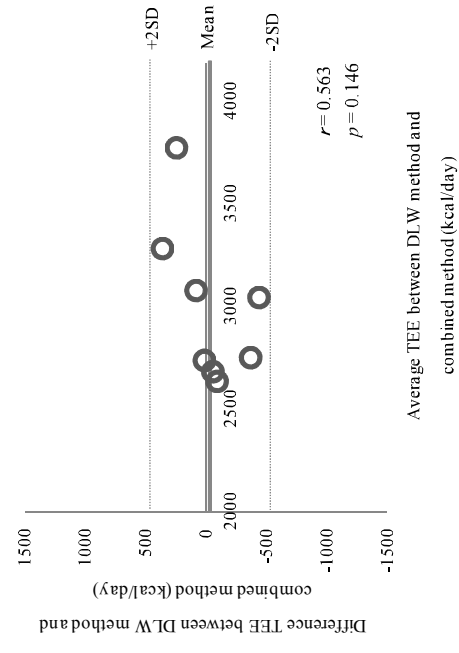
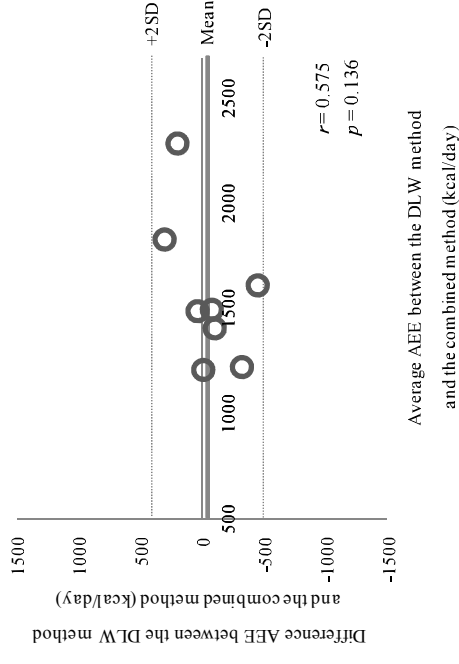


Figure 3-2-1. Relationships of estimated TEE (A), AEE (B) and PAL (C) between the DLW method and the combined method

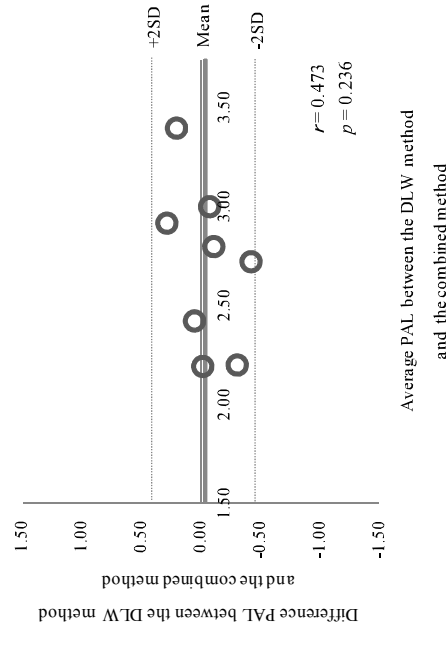
Significant positive correlations between two methods in TEE ($r = 0.837$, $p = 0.009$), AEE ($r = 0.835$, $p = 0.010$) and PAL ($r = 0.869$, $p = 0.005$) were obtained by Pearson's product-moment correlation coefficients.



(A)



(B)



(C)

Figure 3-2-2. Bland-Altman plots displaying the differences in estimated TEE (A), AEE (B) and PAL (C) between the DLW method and combined method

Table 3-2-4. Relationships of TEE estimation error with total and different intensities

EE during training and non-training PA evaluated by the combined method

	Correlation coefficient	<i>p</i> value
Training		
Total	0.725	0.042
SED	- 0.504	0.203
LPA	- 0.515	0.192
MPA	- 0.314	0.448
VPA	0.824	0.012
Non-training		
Total	0.480	0.228
SED	0.065	0.878
LPA	0.419	0.301
MPA	0.264	0.527
VPA	0.287	0.491

Values are Pearson's product-moment correlation coefficients and *p* values.

第 4 章

女性陸上長距離選手における身体活動レベルの個人差に影響する要因の検討

4-1. 緒言

前述の通り、スポーツ選手の PAL の目安の値は、JISS によって種目カテゴリー別、期別にそれぞれ 1 つの値が定められている（小清水ら, 2005）。しかしながら、著者らの研究（吉田ら, 2012 & 2013）や先行研究（Ebine et al., 2000; Hill et al., 2002）において、同一種目あるいは同一種目カテゴリーに分類される種目の選手においても、PAL に大きなばらつきがあることが報告されている。これは、同じ種目の選手であっても、個々のトレーニング中あるいは生活活動中の活動内容が異なるために、PAL にばらつきが生じたと推察される。そこで、第 2 章では、女性新体操選手と女性ラクロス選手を対象に、PAL の個人差に影響する要因を検討したところ、種目にかかわらず、トレーニング中の総活動量が PAL の個人差に影響していることを明らかにした。このことから、スポーツ選手の PAL の基準値は、種目カテゴリーのみに基づいて定めるのではなく、選手個々の活動内容、特にトレーニングの活動量を考慮して分類することで、PAL 推定の正確さを高めることができることが示唆された。

一般成人においては、「日本人の食事摂取基準（2010 年版）」（厚生労働省, 2009）に、身体活動量別に PAL の代表値とその範囲、活動内容と活動時間の代表例がそれぞれ示されている。したがって、DRI に示されている活動内容とその時間を参考にして、個々で PAL の値を調整することが可能である。スポーツ選手においても、個々のトレーニ

ングやトレーニング以外の生活活動の内容に応じて PAL を選択できるようになれば、同一期內でも個別に PAL の調整が可能となると考える。

第 2 章の研究において、トレーニング中の総活動量は、DLW 法で評価した 1 日あたりの総活動量から、加速度計法で評価したトレーニング以外の生活活動中の総活動量と睡眠、入浴等の活動量を差し引くことで算出した。したがって、トレーニング中の活動量そのものを評価したのではないことに加えて、トレーニング中の活動強度別の活動時間や活動量を評価することができなかった。このため、トレーニング中の活動量のうち、特にどのような強度の活動が PAL の個人差に影響するかは不明である。選手が個々の活動内容に応じて PAL を推定できるようになるためには、トレーニングおよび生活活動の詳細な内容（活動強度別の活動時間や活動量）と PAL との関連を明らかにする必要があるが、これについて検討している先行研究はこれまでにない。そこで著者らは、トレーニング中の活動内容を評価できる手法として、RPE に基づく活動記録法を提案し、第 3 章 第 1 節においてその妥当性を証明し、第 2 節において活動記録法と加速度計法とを組み合わせる併用法の妥当性を証明した。

本研究では、陸上長距離選手を対象に、RPE に基づく活動記録法と加速度計法を組合せた併用法で、トレーニングおよび生活活動中の活動強度別の時間および活動量を評価することとした。そして、それらと PAL との関連を検討し、PAL の個人差に影響する要因を明らかにすることを目的とした。

4-2. 方法

4-2-1. 対象者

対象者は大学の駅伝部に所属する女子学生 8 名であった。対象者は日本学生選手権あるいは関東学生選手権出場レベルであった。対象者にはあらかじめ研究の目的、方法、危険性等を十分に説明し、文書による同意を得た。本研究は、早稲田大学に設置の人を対象とする研究に関する倫理委員会ならびに（独）国立健康・栄養研究所の研究倫理審査委員会より承認を得て、実施した。

4-2-2. 研究デザイン

測定は、2013 年の通常トレーニング期に行った。測定項目は、BH、BW、BF、FFM、早朝空腹仰臥位の RMR、座位および立位状態の RMR、運動負荷試験中の RPE、 VO_2 および VCO_2 、8 日間の TEE、トレーニング中の EE、生活活動中の EE、主要栄養素およびアルコール摂取量であった。BH および BW は、早朝空腹仰臥位の RMR の測定前に測定した。また、測定期間中の BW の変化量を調査するため、測定期間終了後に、測定期間前の測定と同条件下にて、BW 測定を行った。BF および FFM の測定は、早朝空腹仰臥位の RMR の測定後に実施した。8 日間の TEE は DLW 法を用いて測定した。DLW 法と同期間のトレーニング中の EE は RPE に基づく活動記録法により、生活活動中の EE は加速度計法により、それぞれ求めた。RPE-EE 回帰式は、トレッドミルを用いた運動負荷試験中に同時に測定した RPE、 VO_2 および VCO_2 から、個別に算出した。主要栄養素およびアルコール摂取量は、3 日間の秤量法による食事記録法から求めた。すべて

の測定は、第 3 章と同様の方法、機器を用いて実施した。

4-2-3. 統計解析

対象者特性、TEE、PAL、活動強度別時間および活動量は、それぞれ平均値と SD で示し、さらに対象者特性に関するデータは、最小値および最大値を示した。PAL は、TEE を早朝空腹仰臥位における RMR で除して求めた。

トレーニングおよび生活活動中の EE は、座位安静状態の RMR を用いて METs・h に換算し、活動量として表した。トレーニングおよび生活活動中の時間および活動量は、活動強度別に SED ($1.0\text{MET} \leq \leq 1.5\text{METs}$)、LPA ($1.5\text{METs} < < 3\text{METs}$)、MPA ($3\text{METs} \leq < 6\text{METs}$)、VPA ($\geq 6\text{METs}$) の 4 つに分類した。DLW 法で評価した PAL と、活動強度別の時間および活動量との相関関係は、Pearson の積率相関係数によって検討した。また、トレーニングおよび生活活動中の時間および活動量の相互関係を考慮して、PAL との関連を検討するために、偏相関係数を用いた。

PAL の個人差に関連する因子を明らかにするために、DLW 法で評価した PAL を従属変数として、ステップワイズ法による重回帰分析を行った。独立変数として、PAL と有意な相関のあったトレーニング中の総活動量、MPA の時間および VPA の活動量を投入した。さらに、一般人において PAL の個人差に独立して影響すると報告されている、生活活動のうちの SED および LPA が占める時間の割合 (Westterterp, 2001) を投入した。また、トレーニング中の総活動量と VPA の活動量のどちらがより強く PAL を説明できるかを検討するために、PAL に対するトレーニング中の総活動量と VPA の活動量の寄

与率を、相関係数からそれぞれ計算し、比較した。

すべての統計解析は、統計ソフト（IBM SPSS Statistics version 21; IBM Corporation, Somers, NY, USA）を用いて行い、有意水準を 5%とした。

4-3. 結果

対象者の BF は $18.3 \pm 1.2 \%$ 、 VO_2max は $54.1 \pm 2.3 \text{ mL/kg/min}$ であった。DLW 法で評価した本研究対象者の TEE は $3032 \pm 344 \text{ kcal/day}$ ($2679 \sim 3689 \text{ kcal/day}$)、PAL は 2.68 ± 0.37 ($2.16 \sim 3.23$) であった。トレーニング、生活活動の時間および活動量と、睡眠時間を Table 4-2 に示した。本研究対象者は、1 日あたり 172 ± 25 分のトレーニングを行っていた。1 日あたりの平均値でみると、トレーニング中の活動量（平均 $28.3 \text{ METs} \cdot \text{h/日}$ ）が生活活動の活動量（平均 $21.4 \text{ METs} \cdot \text{h/日}$ ）よりも有意に多く、ばらつきもトレーニング中の活動量（SD: $7.1 \text{ METs} \cdot \text{h/日}$, CV: 25 %）が生活活動の活動量（SD: $2.9 \text{ METs} \cdot \text{h/日}$, CV: 13 %）よりも大きかった。トレーニング時間の 78.6 %、トレーニング中の活動量の 93.9 %を VPA が占めていたが、生活活動の時間および活動量の大部分を占めていたのは、SED および LPA であった（時間: SED 41.7 %, LPA 31.1 %; 活動量: SED 29.1 %, LPA 38.4 %）。

DLW 法で評価した PAL と有意な正の相関がみられたのは、トレーニング中の総活動量（ $r = 0.805, p = 0.016$ ）と VPA の活動量（ $r = 0.819, p = 0.013$ ）であり、有意な負の相関がみられたのは、トレーニング中の MPA の時間（ $r = -0.729, p = 0.040$ ）であった（Table 4-3）。生活活動中の強度別の時間および活動量は、いずれも PAL との有意な相関はみら

れず、トレーニング中の総活動量の影響を除外しても、これらの相関関係は変わらなかった。PAL に対する寄与率は、トレーニング中の VPA の活動量（67.1 %）の方が、トレーニング中の総活動量（64.8 %）よりも大きかった。PAL の予測因子を検討するために重回帰分析を行ったところ、トレーニング中の総活動量と VPA の活動量との間に、高い共線性が認められた。そこで、より相関係数の低いトレーニング中の総活動量を除外し、再解析を行った。その結果、トレーニング中の VPA の活動量のみが、独立して PAL の個人差に影響していた（Table 4-4）。

4-4. 考察

本研究では、活動記録法と加速度計法の併用法によって、女性陸上長距離選手のトレーニングおよびトレーニング以外の生活活動中の、活動強度別の活動時間および活動量を評価した。そして、トレーニング中の総活動量、MPA の時間および VPA の活動量が、PAL の個人差に関連しており、特にトレーニング中の VPA の活動量が、PAL の個人差にもっとも強く影響していることが明らかとなった。

本研究対象者の PAL の平均値は 2.68 ± 0.37 で、もっとも小さい者で 2.16、もっとも大きい者で 3.23 であった。第 2 章の研究や、スポーツ選手の PAL を算出した多くの研究と同様に、同一種目内でのばらつきが大きかった。JISS（小清水ら、2005）によって示された目安の値では、本研究対象者の分類される持久系種目の PAL は、通常トレーニング期で 2.50 とされている。対象者それぞれの PAL と JISS の PAL（2.50）との差を算出したところ、 -0.18 ± 0.37 であった。これは、1 日当たり -172 ± 422 kcal の TEE の推

定誤差に相当していた。女性陸上長距離選手 9 名の通常トレーニング期の PAL を、DLW 法を用いて算出した研究 (Schulz et al., 1992) で同様の検討を行ったところ、JISS の PAL (2.50) との差は 0.51 ± 0.30 であり、TEE の推定誤差は 1 日当たり 772 ± 541 kcal に相当していた。このように、種目カテゴリー別、期別に 1 つの PAL を設定すると、実際の PAL との差が大きくなり、TEE の推定誤差が大きくなる可能性がある。

女性新体操選手および女性ラクロス選手を対象とした第 2 章の研究で、PAL の個人差にはトレーニング中の総活動量が関連していることを報告した。本研究では、第 3 章で提案した併用法を用いてトレーニング中の活動量を活動強度別に評価し、総活動量に加えて、6 METs 以上の活動量が PAL に影響していることを明らかにした。さらに、総活動量よりも VPA の活動量によって、より強く PAL の個人差を説明できる可能性を示した。本研究では、トレーニング中の総活動量のうちの平均 93.9 %を VPA が占めていたために、トレーニング中の総活動量および VPA の活動量と PAL との関係性が類似していたと考えられる。それでも、トレーニング中の総活動量よりも VPA の活動量の方がより強く PAL を説明していた理由は、VPA の方が値のばらつきが大きかったためと推察される (CV: トレーニング中の総活動量, 25 %; トレーニング中の VPA の活動量, 29 %)。また、トレーニング中の MPA の時間は、PAL との有意な負の相関がみられたにもかかわらず、重回帰分析の結果、PAL の予測因子にはならなかった。トレーニング中の MPA の時間と VPA の活動量の間には、有意ではなかったが、強い負の相関がみられ ($r = -0.627, p = 0.096$)、トレーニング中の VPA の活動量の影響を除外すると、トレーニング中の MPA の時間と PAL との相関の有意性はなくなることが明らかとなった (r

= -0.522, $p = 0.229$)。したがって、相関分析でみられたトレーニング中の MPA の時間と PAL との間の有意な相関は、VPA の活動量の影響による疑似相関であったために、重回帰分析において PAL の予測因子から除外されたと考えられる。このように、本研究結果からは、スポーツ選手をトレーニング中の VPA の活動量の大小によっていくつかに群分けし、それぞれの群に PAL の目安を設定することで、PAL の推定誤差をより小さくすることが可能であると示唆された。

第 2 章の研究と同様に、トレーニングの時間や、生活活動の時間および活動量は、PAL の個人差には影響しなかった。本研究では、生活活動中の総活動量は PAL との有意な相関を示さなかった。トレーニング中の総活動量と生活活動中の総活動量の大小で 2 群に分け、独立した t 検定を用いて各群の PAL を比較したところ、トレーニング中の総活動量で分類した 2 群間では有意差がみられたが (2.43 vs. 2.93, $p = 0.039$)、生活活動中の総活動量で分類した 2 群間には有意差はみられなかった (2.64 vs. 2.72, $p = 0.771$)。また、PAL の大小で 2 群分けし、生活活動中の強度別活動量を比較したところ、いずれも 2 群間に有意差はなかった。本研究対象者では、一般人のように、生活活動中に強度の高い活動を長時間行っていることが、PAL が高いことに結び付いておらず、トレーニング中の活動量を考慮しても、この関係性は変わらなかった。この理由の 1 つとして、本研究で対象とした大学が地方にあり、対象者は全員同一の寮に入っており、アルバイト等の特別な活動をしておらず、測定期間中のトレーニングのない日が 0 日あるいは 1 日と少なかったことから、生活活動の内容が限定されていた可能性が考えられる。このため、本研究対象者の PAL が、競技レベルやトレーニング目的によって個々で内容の異なる

トレーニングの活動量の影響を強く受けたと推察される。

本研究では、生活活動中の総活動量とトレーニング中の総活動量との間に、有意な負の相関がみられなかった。また、トレーニング中の総活動量の影響を除外しても、生活活動中の強度別活動量と PAL との相関関係が有意になることはなかった。これは、トレーニング中の活動量の多いことが、生活活動中の活動量を少なくすることに関連していなかったことを示す。一般成人を対象に、減量や筋力強化を目的としたトレーニングを行わせると、トレーニング以外の生活活動の活動量が減少することを報告している研究が複数存在する (Goran et al., 1992; Morio et al., 1998; Meijer et al., 1999)。このように、トレーニングを行うことで増加した EE を、生活活動の減少により相殺してしまう状態は "Activity compensation" と呼ばれ、減量プログラム等の効果が薄れてしまう 1 つの要因とされている。一方で、このような活動の相殺が起らなかったことを報告している研究もある (van Etten et al., 1997; Hunter et al., 2000; Rangan et al., 2011)。Rangan et al (2011) は、トレーニングを十分な期間にわたり継続して行うことで、活動の相殺の発生を防ぐことができると考察している。実際に、上記に挙げた研究においては、活動の相殺が生じた研究は、トレーニングの実施期間が 14 週間以下であるのに対し、活動の相殺が生じなかった研究は 18 週間以上であった。本研究対象者において、トレーニング中の総活動量と、生活活動中の総活動量および活動強度別の活動量との間に有意な相関はなかった。すなわち、トレーニング中の活動量が多いために、生活活動中のより強度の高い活動がより強度の低い活動に置き換わっているということではなく、活動の相殺は生じていなかったと考えられる。本研究対象者は競技歴が長く (平均 7.5 年)、毎日

のようにトレーニングを行う生活に十分に順応していたためかもしれない。

第2章の第2節で、併用法による TEE の推定誤差に、トレーニング中の VPA の EE が関連していることを報告した。同様に、PAL の推定誤差にも、トレーニング中の VPA の EE が関連している可能性がある。しかしながら、第2節で検討した PAL の推定誤差は平均-0.2 %と小さく、推定誤差の影響によって本研究結果が根本的に変更されることはないと考えられることから、本研究では PAL の推定誤差とトレーニング中の VPA の活動量との関連について、詳細な検討は行わなかった。

本研究には、3つの限界点がある。第1に、対象者数が8名と少なかった。今後、対象者数を増加して、同様の解析結果が得られるかどうかを検討する必要がある。第2に、本研究では第3章の第2節の研究同様、加速度計の装着時間が、加速度計を装着可能な時間の90%以上であった日を解析対象とし、この日の活動記録に不備があった場合、測定期間中の他の日で、トレーニングを行った時間やトレーニングの内容が類似している日のセッションあたりの平均 EE を算出し、不備のあった部分に当てはめた。第3に、本研究対象者のトレーニング中の活動量は、大部分が VPA に分類される高強度の活動であり、より低い強度の活動量と PAL との関連についての詳細な検討を行うことができなかった。そのため、他の種目カテゴリーの選手等、本研究対象者とはトレーニング内容のまったく異なる選手の PAL の個人差が、トレーニング中の VPA の活動量によってどの程度説明できるかについては、十分に検討の余地がある。

本研究は、JISS（小清水ら, 2005）が定めた PAL の目安の値が、「持久系」の種目カテゴリーにおいて、選手の PAL を過小評価している可能性を明らかにした。また、第2

章の研究と同様に、同一種目の選手においても、PAL に大きなばらつきがあることから、種目カテゴリー別、期別に 1 つの PAL を設定することが適切でないことを示唆した。

さらに、本研究では、陸上長距離選手の PAL の個人差が、トレーニング中の VPA (6METs 以上) の活動量によってもっとも強く影響を受けることを明らかにした。このことは、選手の PAL を種目カテゴリーのみで分類するよりも、トレーニング中の活動量、特に高強度の活動の活動量に基づいて区分することで、より正確に PAL を推定することができる可能性を示している。今後は、第 3 章の第 2 節で提案した活動記録法と加速度計法の併用法のように、トレーニング中の活動量を活動強度別に評価することのできる手法を用いて、さまざまな種目カテゴリーに分類される選手を対象に、PAL とトレーニング中の活動強度別の活動量を調査し、それらの関連を明らかにしていくことで、スポーツ選手の PAL 推定の正確さを高めるためのデータを蓄積することができると考える。

Table 4-1. Characteristics of female endurance runners (n=8)

		Mean \pm SD	Range
Age	(yrs)	20 \pm 1	19 - 21
BH	(cm)	160.0 \pm 2.2	157.0 - 162.6
BW	(kg)	46.7 \pm 2.4	44.3 - 50.2
BMI	(kg/m ²)	18.3 \pm 1.2	16.8 - 20.0
BF	(%)	15.6 \pm 2.3	11.8 - 18.4
FFM	(kg)	39.8 \pm 1.7	37.5 - 43.0
VO ₂ max	(mL/kg/min)	54.1 \pm 2.3	50.3 - 57.7
TEE	(kcal/day)	3032 \pm 344	2679 - 3689
RMR _{supine}	(kcal/day)	1144 \pm 143	912 - 1297
PAL		2.68 \pm 0.37	2.16 - 3.23

Data are presented as mean \pm SD and range of values (min. - max.).

Table 4-2. Duration and amount of different intensities for each PA component evaluated by the combined method

	Duration (min/day)	Amount (METs • h/day)
Training		
Total	172 ± 25	28.3 ± 7.1
SED	14 ± 8	0.5 ± 0.3
LPA	1 ± 2	0.1 ± 0.1
MPA	11 ± 10	1.0 ± 0.9
VPA	109 ± 19	26.8 ± 7.7
Non-training		
Total	752 ± 94	21.4 ± 2.9
SED	317 ± 66	6.3 ± 1.3
LPA	235 ± 59	8.3 ± 2.1
MPA	67 ± 21	4.2 ± 1.5
VPA	3 ± 2	0.5 ± 0.4
Sleep		
Total	455 ± 70	-

Data are presented as mean ± SD.

Table 4-3. Correlation of PAL calculated from the DLW method and the duration or amount of different intensities for each PA component estimated by the combined method

	Duration (min/day)		Amount (METs • h/day)	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Training				
Total	0.077	0.855	0.805	0.016
SED	- 0.078	0.854	- 0.046	0.913
LPA	- 0.403	0.323	- 0.403	0.323
MPA	- 0.729	0.040	- 0.693	0.057
VPA	0.475	0.234	0.819	0.013
Non-training				
Total	- 0.061	0.886	- 0.028	0.948
SED	- 0.176	0.677	- 0.178	0.673
LPA	0.483	0.225	0.464	0.247
MPA	- 0.193	0.646	- 0.263	0.528
VPA	- 0.414	0.308	- 0.425	0.294
Sleep				
Total	0.123	0.771	-	-

Values are Pearson's correlation coefficients (*r*) and *p* values (*p*).

Table 4-4. Multiple linear regression analysis for identifying of predictors of PAL

	R ²	Unstandardized coefficient		Standardized coefficient	<i>p</i> value
		B	Standard error	β	
Amount of training VPA		0.039	0.311	0.819	0.013
(Intercept)		1.631	0.011		0.002
Total	0.670				0.013

Duration of training MPA and the fraction of time spent on SED and LPA during non-training PA was excluded from the regression formula.

第5章 総括

ACSM は、過酷なトレーニングを積む女性スポーツ選手に見られる「Female Athletes Triad」が、TEE に対するエネルギー摂取量の不足によって引き起こされると指摘している。したがって、スポーツ選手が、競技力を向上させるためのトレーニングを、健康な状態で継続して行っていくためには、TEE に見合った適切なエネルギーの摂取が不可欠である。スポーツ選手のエネルギー必要量は、TEE に個々のトレーニング目的等を考慮して決定する。現場において、TEE は PAL に RMR を乗じて求めている。スポーツ選手の PAL は、JISS によって種目カテゴリー別、期別に目安の値が定められているが、先行研究で、同一種目の選手においても PAL に大きなばらつきがあることが報告されている。したがって、スポーツ選手の PAL の基準値は、種目カテゴリーによって区分するよりも、DRI のように活動内容によって区分する方が望ましいと考えた。しかしながら、これまでにスポーツ選手の PAL を測定した研究においては、活動内容に関する記述が少なく、それと PAL との関連が不明なため、PAL の基準値の区分を検討することができない。そこで、本論文を通しての目的を、スポーツ選手の PAL の基準値を、活動内容や活動時間によって区分することが適切かどうかを明らかにすることとした。本研究では、TEE に対するエネルギー摂取量の不足が特に問題視されている、女性スポーツ選手を対象とした。

第2章 女性スポーツ選手の身体活動レベルの個人差に対するトレーニングおよび生活活動の寄与

第2章では、女性新体操選手と女性ラクロス選手を対象に、1日の活動をトレーニングとトレーニング以外の生活活動とに分類し、それぞれの時間および活動量を調査するとともに、それらとPALとの関連を検討した。新体操選手とラクロス選手とで、トレーニングおよび生活活動の時間や活動量は有意に異なっていたが、PALと有意に関連していたのは、いずれの種目においてもトレーニング中の活動量のみであった。したがって、女性スポーツ選手のPALを推定したり、PALの個人差の要因を検討したりするためには、トレーニングの時間だけでなく、トレーニング中の活動の強度を調査し、そこから活動量を求める必要があることが明らかとなった。この成果は、原著論文としてすでに公表されている。

Yoshida A, Ishikawa-Takata K, Taguchi M, Nakae S, Tanaka S, Higuchi M. Contributions of training and non-training physical activity to physical activity level in female athletes. *Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 3(2): 261-268, 2014

第3章 女性スポーツ選手の通常トレーニング期における総エネルギー消費量および活動内容別エネルギー消費量の推定方法の考案

第1節 トレーニング中のエネルギー消費量を評価するための主観的運動強度に基づく活動記録法の提案

第3章の第1節では、現行の測定手法では困難な、トレーニング中の活動強度別の活動時間および活動量の評価を可能にするために、RPEに基づく活動記録法を考案し、その妥当性を検討した。女性陸上長距離選手を対象に、トレーニング中のEEをRPEに基づく活動記録法によって評価し、HR法で評価したそれと比較したところ、活動記録法の方が有意に高値を示した。しかしながら、2法間には有意な正の相関が認められ、高い級内相関係数が得られた。したがって、本節で提案したRPEに基づく活動記録法は、女性陸上長距離選手のトレーニング中のEEを評価する方法として有効であると判断した。この成果は、原著論文として現在投稿中である。

吉田明日美，高田和子，鈴木尚人，櫛部静二，磯繁雄，田口素子，田中茂穂，樋口満．トレーニング中のエネルギー消費量を評価するための主観的運動強度に基づく活動記録法の提案．*体力科学*（投稿中）

第2節 女性陸上長距離選手における活動記録法と加速度計法の併用法による

総エネルギー消費量評価の妥当性の検討

第3章の第2節では、前節で作成した活動記録法によってトレーニングのEEを、加速度計法によって生活活動のEEをそれぞれ評価する併用法を考案し、その妥当性を検討した。女性陸上長距離選手を対象に、併用法で評価したTEE、AEE、PALと、DLW法で求めたそれらとを比較したところ、いずれも2法間で有意差はなく、推定誤差も小さかった。また、2法間にはいずれも有意な正の相関が認められ、系統誤差もみられなかった。したがって、活動記録法と加速度計法の併用法は、陸上長距離選手のTEEを

評価する方法として有効であると判断した。この成果は、原著論文として投稿準備中である。

Yoshida A, Ishikawa-Takata K, Suzuki N, Taguchi M, Tanaka S, Higuchi M.

The validity of combining activity record and accelerometry to measure free-living total energy expenditure in female endurance runners. (投稿先未定)

本研究は、併用法として、スポーツ選手の1日をトレーニングとそれ以外の生活活動に分類し、それぞれに適した方法でEEを評価し、合わせてTEEを求めた点に、新規性がある。活動記録法と加速度計法の併用法により評価した、女性陸上長距離選手のTEEの推定誤差は $-0.2 \pm 8.8\%$ 、信頼限界値は $-550 \sim 552$ kcal/dayであった。これらの結果を、スポーツ選手のTEEを単一の方法で評価した先行研究(Ekelund et al., 2002; 引原ら, 2005; Koehler et al., 2011)と比較すると、推定誤差がより小さく、信頼限界値の幅がより狭かった。このことは、本研究で考案した併用法を用いることで、従来の方法よりも、正確かつ高精度に陸上長距離選手のTEEを評価できる可能性を示す。

第4章 女性陸上長距離選手における身体活動レベルの個人差に影響する要因の検討

第4章では、第2章において、DLW法で求めた総活動量から、生活活動中の活動量を差し引くことでトレーニング中の活動量を求めたために検討できなかった、トレーニング中の活動強度別の活動量を、第3章の第2節で妥当性を確認した併用法を用いて調査した。そして、トレーニングおよび生活活動中の活動強度別の活動時間および活動量

が、PAL の個人差に与える影響を検討した。女性陸上長距離選手を対象に、トレーニングおよび生活活動中の活動強度別の時間および活動量を、活動記録法と加速度計法の併用法によって、PAL を DLW 法によってそれぞれ評価し、それらの関連を検討した。その結果、トレーニング中の VPA の活動量が、PAL の個人差に独立して影響していた。さらに、第 2 章において PAL の予測因子として報告されたトレーニング中の総活動量と、第 4 章で新たに PAL の予測因子であることが示されたトレーニング中の VPA の活動量によって、PAL の個人差をそれぞれの程度説明できるかを比較したところ、トレーニング中の総活動量によって 64.8 %、トレーニング中の VPA の活動量によって 67.1 % 説明できることが明らかとなった。

これらの結果から、女性スポーツ選手の PAL の個人差は、トレーニング中の活動量と関連しており、特に女性陸上長距離選手においては、トレーニング中の VPA の活動量の影響をもっとも強く受けていることが明らかとなった。したがって、スポーツ選手の PAL の基準値は、活動内容、特にトレーニング中の高強度（6 METs 以上）の活動の活動量によって区分することが、適切である可能性が示された。この新しい知見をもとに、スポーツ選手のエネルギー必要量のより正確な推定方法を提案することで、選手の望ましい体格およびコンディションの維持につながることを期待できる。

しかしながら、本論文中で対象とした種目および対象者数は非常に限られており、この結果は限定的なものである可能性も否定できない。今後、さまざまな種目の選手を対象に、本論文中で用いた手法の妥当性ならびに再現性の検討や、選手の活動内容と PAL との関連のさらなる検討を行うことが不可欠である。将来的に、活動記録法と加速度計

法の併用法が、スポーツ選手の活動内容を評価する手法として確立すれば、それを用いて評価した、選手のトレーニングおよび生活活動の内容に関する詳細なデータを蓄積していくことで、スポーツ選手の PAL のより正確で簡易的な推定が可能となり、パフォーマンス向上に貢献できると考える。

謝辞

本研究の遂行ならびに本論文の執筆にあたり、終始懇篤なご指導と多方面におけるご支援を賜りました早稲田大学スポーツ科学学術院 樋口 満 教授に、心より謝意を表します。

学部3年の頃より現在まで、研究計画の作成や測定方法、データ解析、論文執筆に至るまで、数えきれない程多くのご支援とご指導を賜り、また素晴らしい研究環境を与えて続けてくださいました独立行政法人 国立健康・栄養研究所 栄養教育研究部 高田 和子 室長と、7年にわたり心身ともに支えて下さいました高田研究室のスタッフの皆様に、深く御礼申し上げます。

本研究の遂行ならびに本論文の執筆にあたり、懇切丁寧なご指導を賜りました独立行政法人 国立健康・栄養研究所 基礎栄養研究部 田中 茂穂 部長、中江 悟司 特別研究員に、厚く御礼申し上げます。

本研究の遂行にあたり、測定機器を快く貸与くださるとともに、論文執筆にあたり、時に応じて厳しいご指導を賜りました、早稲田大学スポーツ科学学術院 田口 素子 准教授に、心より感謝申し上げます。

本研究の遂行にあたり、運動負荷試験実施時ならびに血液採取時の安全管理を快くお引き受けくださいました、早稲田大学スポーツ科学学術院 坂本 静男 教授、二重エネルギーX線吸収法による身体組成測定時の安全管理を快くお引き受け下さいました、独立行政法人 国立健康・栄養研究所 栄養教育研究部 瀧本 秀美 部長に、感謝の意を表します。

本研究の遂行にあたり、検者としてご協力いただきました早稲田大学スポーツ栄養研究所 大嶋 里美 招聘研究員、早稲田大学スポーツ科学研究科 村田 浩子 氏、孫 曉敏 氏、谷澤 薫平 氏、諏佐 大志 氏、独立行政法人 国立健康・栄養研究所 栄養教育研究部 坂田 晶子 氏、中島 真由美 看護師に、心より御礼申し上げます。

本研究の被験者として快くご協力いただきました日本女子体育大学新体操部の選手の皆様、日本女子体育大学ラクロス部の皆様、早稲田大学競走部長距離ブロックの選手の皆様、城西大学女子駅伝部の選手の皆様、城西大学男子駅伝部の選手の皆様、そして、選手の皆様に被験者としてご協力いただくことを快くご了承いただき、本研究の遂行をさまざまな場面で支えてくださいました早稲田大学競走部 磯 繁雄 監督、城西大学女子駅伝部 鈴木 尚人 監督、城西大学男子駅伝部 櫛部 静二 監督、城西大学陸上競技部 土江 寛裕 前監督と、各運動部のコーチ、マネージャー、関係者の皆様に、深謝申し上げます。

本研究は、2011 年度 早稲田大学スポーツ科学研究推進費（スポーツ選手の身体活動レベルの個人差に影響を与える要因の検討、研究代表者：田中 茂穂）、2012 年度 早稲田大学 GCOE 登録学生研究費（スポーツ選手におけるトレーニング中のエネルギー消費量を評価するための活動記録用紙の開発、研究代表者：田中 茂穂）、2013 年度 早稲田大学スポーツ科学研究推進費（スポーツ選手における活動記録法と加速度計法を併用して評価した総エネルギー消費量の妥当性の検討、研究代表者：田中 茂穂）によって行われたことを付記いたします。

最後に、これまで自分の思う道を進むことに対し、温かく見守り、苦言を呈することなく支援し続けてくれた、愛する両親、妹弟に心から感謝します。

文献

Ainslie PN, Reilly T, Westerterp KR.

Estimating human energy expenditure: a review of techniques with particular reference to doubly labeled water. *Sports Med* 33:683-698, 2003

Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS.

2011 compendium of physical activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc* 43: 1575-1581, 2011

Black AE, Prentice AM, Coward WA.

Use of food quotients to predict respiratory quotients for the doubly-labelled water method of measuring energy expenditure. *Hum Nutr Clin Nutr* 40: 381-391, 1986

Bland JM, Altman DG.

Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1:307-310, 1986

Borg G, Hassmén P, Lagerström M.

Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *Eur J Appl Occup Physiol* 56: 679-685, 1987

Borg G.

Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Med Sci Sports* 5: 90-93, 1973

Borg G.

Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14: 377-381, 1982

Brouha WL, Radford EP.

The cardiovascular system in muscular activity. *Science and medicine of exercise and sports*, 1960

Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D.

Maximal oxygen intake and nomographic assessment of dunctional aerobic impairment in cardiovasculat disease. *Am Heart J* 85: 546-562, 1973

Burrows TL, Martin RJ, Collins CE.

A systematic review of the validity of dietary assessment methods in children when compared with the method of doubly labeled water. *J Am Diet Assoc* 110: 1501-1510, 2010

Carlsohn A, Scharhag-Rosenberger F, Cassel M, Weber J, de Guzman Guzman A, Mayer F.

Physical activity levels to estimate the energy requirement of adolescent athletes.

Pediatr Exerc Sci 23: 261-269, 2011

Davidson L, McNeill G, Haggarty P, Smith JS, Franklin MF.

Free-living energy expenditure of adult men assessed by continuous heart-rate monitoring and doubly-labelled water. *Br J Nutr* 78: 695-708, 1997

Davies PSW, Feng JY, Crisp JA, Day JME, Laidlaw A, Chen J, Liu XP.

Total energy expenditure and physical activity in young Chinese gymnasts. *Pediatr Exerc Sci* 9: 243-252, 1997

De Meester F, De Bourdeaudhuij I, Deforche B, Ottevaere C, Cardon G.

Measuring physical activity using accelerometry in 13-15-year-old adolescents: the importance of including non-wear activities. *Public Health Nutr* 14: 1-10, 2011

Ebine N, Fen JY, Homma M, Saitoh S, Jones PJH.

Total energy expenditure of elite synchronized swimmers measured by the doubly labeled water method. *Eur J Appl Physiol* 83: 1-6, 2000

Ebine N, Rafamantanantsoa HH, Nayuki Y, Yamanaka K, Tashima K, Ono T, Saitoh S, Jones PJH.

Measurement of total energy expenditure by the doubly labeled water method in professional soccer players. *J Sports Sci* 20: 391-397, 2002

Edwards JE, Lindeman AK, Mikesky AE, Stager JM.

Energy balance in highly trained female endurance runners. *Med Sci Sports Exerc* 25: 1398-1404, 1993

Eisenmann JC, Wickel EE.

Estimated energy expenditure and physical activity patterns of adolescent distance runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 17: 78-188, 2007

Ekelund U, Yngve A, Brage S, Westerterp K, Sjöström M.

Body movement and physical activity energy expenditure in children and adolescents: how to adjust for differences in body size and age. *Am J Clin Nutr* 79: 851-856, 2004

Ekelund U, Yngve A, Sjöström M, Westerterp K.

Field evaluation of the Computer Science and Application's Inc. activity monitor during running and skating training in adolescent athletes. *Int J Sports Med* 21: 586-592, 2000

Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottshcall L, Hrovatin LA, Parker S, Doleshal P, Dodge C.

A new approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res* 15: 109-115, 2001

Gabriel KP, McClain JJ, High RR, Schmid KK, Whitfield GP, Ainsworth BE.

Patterns of accelerometer-derived estimates of inactivity in middle-age women. *Med Sci Sports Exerc* 44: 104-110, 2012

Gomersall SR, Maher C, Norton K, Dollman J, Tomkinson G, Esterman A, English C, Lewis N, Olds TS.

Total energy expenditure and energy requirements in healthy elderly persons. *BMC public health* 12: 851, 2012

Goran MI, Poehlman ET.

Accelerometer-determined physical activity in adults and older people. *Metabolism* 41: 744-753, 1992

Hagströmer M, Ainsworth BE, Oja P, Sjöström M.

Energy intake and energy expenditure in elite lightweight female rowers. *J Phys Act Health* 7: 541-550, 2010

Hansen BH, Kolle E, Dyrstad SM, Holme I, Anderssen A.

Comparison of a subjective and an objective measure of physical activity in a population sample. *Med Sci Sports Exerc* 44: 266-272, 2012

Hikihara Y, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Tabata I.

Validation and comparison of 3 accelerometers for measuring physical activity intensity during nonlocomotive activities and locomotive movements. *J Phys Act Health* 9: 935-943, 2012

Hill RJ, Davies PSW.

Energy intake and energy expenditure in elite lightweight female rowers. *Med Sci Sports Exerc* 34: 1823-1829, 2002

Hill RJ, Davies PSW.

The validity of self-reported energy intake as determined using the doubly labelled water technique. *The British journal of nutrition* 85: 415-430, 2001

Hsu YW, Belcher BR, Ventura EE, Byrd-Williams CE, Weigensberg MJ, Davis JN, McClain AD, Goran MI, Spruijt-Metz D.

Physical activity, sedentary behavior, and the metabolic syndrome in minority youth. *Med Sci Sports Exerc* 43: 2307-2313, 2011

Hunter GR, Wetzstein CJ, Fields DA, Brown A, Bamman MM.

Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *J Appl Physiol* 89: 977-984, 2000

Jones PJ, Litch CA.

Validation of doubly labeled water for measurement of caloric expenditure in collegiate swimmers. *J Appl Physiol* 74: 2909-2914, 1993

Koehler K, Braun H, de Marées M, Fusch G, Fusch C, Schaenzer W.

Assessing energy expenditure in male endurance athletes: validity of the SenseWear Armband. *Med Sci Sports Exerc* 43: 1328-1333, 2011

Koletzko B, Sauerwald T, Demmelmair H.

Safety of stable isotope use. *European journal of pediatrics* 156 Suppl: S12-7, 1997

Landis J, Koch G.

The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33: 159-174, 1977

Leonard WR.

Measuring human energy expenditure: What have we learned from the flex-heart rate method? *Am J Hum Biol* 15: 479-489, 2003

Machado-Rodrigues AM, Figueiredo AJ, Mota J, Cumming SP, Eisenmann JC, Malina RM, Coelho-e-Silva MJ.

Concurrent validation of estimated activity energy expenditure using a 3-day diary and accelerometry in adolescents. *Scand J Med Sci Sports* 22: 259-264, 2012

Mâsse LC, Fuemmeler BF, Anderson CB, Matthews CE, Trost SG, Catellier DJ, Treuth M

Accelerometer data reduction: a comparison of four reduction algorithms on select outcome variables. *Med Sci Sports Exerc* 37 11Suppl: S544-S554, 2005

Matthews CE, Chen KY, Freedson PS, Buchowski MS, Beech BM, Pate RR, Troiano RP.

Amount of time spent in sedentary behaviors in the United States, 2003-2004. *Am J Epidemiol* 167: 875-881, 2008

McClain JJ, Sisson SB, Tudor-Locke C.

Actigraph accelerometer interinstrument reliability during free-living in adults. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1509-1514, 2007

McLean BD, Coutts AJ, Kelly V, McGuigan MR, Cormack SJ.

Neuromuscular, endocrine, and perceptual fatigue responses during different length between-match microcycles in professional rugby league players. *Int J Sports Physiol Perform* 5: 367-383, 2010

Meijer EP, Westerterp KR, Verstappen FT.

Effect of exercise training on total daily physical activity in elderly humans. *Eur J Appl Physiol* 80: 16-21, 1999

Midorikawa T, Tanaka S, Kaneko K, Koizumi K, Ishikawa-Takata K, Futami J, Tabata I.

Evaluation of low-intensity physical activity by triaxial accelerometry. *Obesity* 15: 3031-3038, 2007

Minganti C, Ferragina A, Demarie S, Verticchio N, Meeusen R, Piacentini MF.

The use of session RPE for interval training in master endurance athletes: should rest be included? *J Sports Med Phys Fitness* 51: 547-554, 2011

Montoye HJ, Kemper HCG, Saris WHM, Washburn RA.

Doubly labeled water. *In: Measuring physical activity and energy expenditure.* Fowler ME, Basic M (eds.), Human Kinetics, Champaign, IL, USA, 1996

Morio B, Montaurier C, Pickering G, Ritz P, Fellmann N, Coudert J, Beaufrère B, Vermorel M.

Effects of 14 weeks of progressive endurance training on energy expenditure in elderly people. *Br J Nutr* 80: 511-519, 1998

Motonaga T, Yoshida S, Yamakami F, Kawano T, Takeda E.

Estimation of total daily energy expenditure and its components by monitoring the heart rate of Japanese endurance athletes. *J Nutr Sci Vitaminol* 52: 360-367, 2006

Oshima Y, Kawaguchi K, Tanaka S, Ohkawara K, Hikiyama Y, Ishikawa-Takata K, Tabata I.

Classifying household and locomotive activities using a triaxial accelerometer. *Gait*

Posture 31: 370-374, 2010

Peters TM, Moore SC, Xiang YB, Yang G, Shu XO, Ekelund U, Ji BT, Tan YT, Liu da K,

Schatzkin A, Zheng W, Chow WH, Matthews CE, Leitzmann MF.

Accelerometer-measured physical activity in Chinese adults. *Am J Prev Med* 38:

583-591, 2010

Plasqui G, Westerterp K.

Physical activity assessment with accelerometers: new insights and validation

studies. *Obes Rev* 14: 451-462, 2013

Rafamantanatsoa HH, Ebine N, Yoshioka M, Higuchi H, Yoshitake Y, Tanaka H, Saitoh S,

Jones PJH.

Validation of three alternative methods to measure total energy expenditure against

the doubly labeled water method for older Japanese men. *J Nutr Sci Vitaminol* 48:

517-523, 2002

Rangan VV, Willis LH, Slentz CA, Bateman LA, Shields AT, Houmard JA, Kraus WE.

Effects of an 8-month exercise training program on off-exercise physical activity.

Med Sci Sports Exerc 43: 1744-1751, 2011

Riddoch CJ, Mattocks C, Deere K, Saunders J, Kirkby J, Tilling K, Leary SD, Blair SN, Ness AR.

Objective measurement of levels and patterns of physical activity. *Arch Dis Child* 92: 963-969, 2007

Rodríguez NR, DiMarco NM, Langley S.

American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and Athletic Performance. *Med Sci Sports Exerc* 41: 709-731, 2009

Rodríguez-Marroyo JA, Villa D, García-López J, Foster C.

Comparison of heart rate and session rating of perceived exertion methods of defining exercise load in cyclists. *J Strength Cond Res* 26: 2249-2257, 2012

Schulz LO, Alger S, Harper I, Wilmore JH, Ravussin E.

Energy expenditure of elite female runners measured by respiratory chamber and doubly labeled water. *J Appl Physiol* 72: 23-28, 1992

Schutz Y, Bessard T, Jéquier E.

Diet-induced thermogenesis measured over a whole day in obese and nonobese women. *Am J Clin Nutr* 40: 542-552, 1984

Scott TJ, Black CR, Quinn J, Coutts AJ.

Validity and reliability of the session-RPE method for quantifying training in Australian football: a comparison of the CR10 and CR100 scales. *J Strength Cond Res* 27: 270-276, 2012

Skinner JS, Hutsler R, Bergstrinová V, Buskirk ER.

The validity and reliability of a rating scale of perceived exertion. *Med Sci Sports* 5: 94-96, 1973a

Skinner JS, Hutsler R, Bergstrinová V, Buskirk ER.

Perceprion of effort during different types of exercise and under different environmental conditions. *Med Sci Sports* 5: 110-115, 1973b

Smutok MA, Skinar GS, Pandolf KB.

Exercise intensity: subjective regulation by perceived exertion. *Arch Phys Med Rehabil* 61: 569-574, 1980

Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Reina JC, Christman NT.

Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr* 48: 552-559, 1988

Trabulsi J, Schoeller DA.

Evaluation of dietary assessment instruments against doubly labeled water, a biomarker of habitual energy intake. *Am J Phys Endo Met* 281: E891-899, 2001

Trappe TA, Gastaldelli A, Jozsi AC, Troup JP, Wolfe RR.

Energy expenditure of swimmers during high volume training. *Med Sci Sports Exerc* 29: 950-954, 1997

Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW, Mâsse LC, Tilert T, McDowell M.

Physical activity in the United States measured by accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 40: 181-188, 2008

Trost SG, McIver KL, Pate RR.

Conducting accelerometer-based activity assessments in field-based research. *Med Sci Sports Exerc* 37 11Suppl: S531-S543, 2005

Tudor-Locke C, Johnson W, Katzmarzyk PT.

U.S. population profile of time-stamped accelerometer outputs: impact of wear time. *J Phys Act Health* 8: 693-698, 2011

Van Etten LM, Westerterp KR, Verstappen FT, Boon BJ, Saris WH.

Effect of an 18-wk weight-training program on energy expenditure and physical activity. *J Appl Physiol* 82: 298-304, 1997

Wallace LK, Slattery KM, Coutts AJ. The ecological validity and application of the session-RPE method for quantifying training loads in swimming. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Strength Cond Res* 23: 33-38, 2009

Weir JB.

New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 109: 1-9, 1949

Westerterp KR.

Pattern and intensity of physical activity. *Nature* 410: 539, 2001

Westerterp KR.

Physical activity assessment with accelerometers. *International journal of obesity*

23 suppl 3: S45-S49, 1999

WHO/FAO/UNU

Human energy requirement: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation,

2004

Yamada Y, Yokoyama K, Noriyasu R, Osaki T, Adachi T, Itoi A, Naito Y, Motimoto T,

Kimura M, Oda S.

Light-intensity activities are important for estimating physical activity energy

expenditure using uniaxial and triaxial accelerometers. *Eur J Appl Physiol* 105:

141-152, 2009

青木純一郎, 形本静夫.

漸増負荷時と漸減負荷時における心拍応答の差. *体育の科学* 27: 243-247,

1977

海老根直之, 島田美恵子, 田中宏暁, 西牟田守, 吉武裕, 齊藤慎一, Jones PJH.

二重標識水法を用いた簡易エネルギー消費量推定法の評価ー生活時間調査

法、心拍数法、加速度計法についてー. *体力科学* 51: 151-164, 2002

加賀谷淳子.

心拍数に基づいた消費カロリーの算出法とその問題点. *体育の科学* 36:

858-863, 1986

厚生労働省策定.

日本人の食事摂取基準 [2010 年版]. 第一出版, 東京, 2009

小清水孝子, 柳沢香絵, 横田由香里.

スポーツ選手の推定エネルギー必要量. *特集: スポーツにおける食事・栄養*

の役割と意義. トレーニング科学 17: 245-250, 2005

齊藤慎一, 海老根直之, 島田美恵子, 吉武裕, 田中宏暁.

二重標識水法によるエネルギー消費量測定 of 原理とその応用—生活習慣病

対策からトップスポーツ選手の栄養処方まで—. *栄養学雑誌* 57: 317-332,

1999

田中茂穂.

アスリートにおける総エネルギー消費量の推定. *日本スポーツ栄養研究誌*

5: 10-14, 2012

田中茂穂.

間接熱量測定法による 1 日のエネルギー消費量の評価. *体力科学* 55:

527-532, 2006

引原有輝, 齊藤慎一, 吉武裕.

高校野球選手における簡易エネルギー消費量測定法の妥当性の検討. *体力科学* 54: 363-372, 2005

松村吉浩, 山本松樹, 北堂正晴, 中村秀樹, 木寺和憲, 藤本繁夫.

3 軸加速度センサを用いた高精度身体活動量計. *松下電工技報* 56: 60-66, 2008

山本祥子, 高田和子, 別所京子, 谷本道哉, 宮地元彦, 田中茂穂, 戸谷誠之, 田畑泉.

ボディービルダーの基礎代謝量と身体活動レベルの検討. *栄養学雑誌* 66: 195-200, 2008

吉田明日美, 高田和子, 別所京子, 田口素子, 辰田和佳子, 戸谷誠之, 樋口満.

女性スポーツ選手における食事記録法によるエネルギー摂取量の評価誤差に関連する要因. *栄養学雑誌* 70: 305-315, 2012

吉田明日美, 高田和子, 藤井瑞恵, 戸谷誠之.

女性陸上短距離選手における自意識と食事記録法によるエネルギー摂取量の評価誤差との関連. *日本栄養・食糧学会誌* 66: 101-107, 2013